DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Fünfzehnter Jahrgang | 5. August 1927 | Heft 31

Entwicklung der Arzneistoffsynthese[1]).

Von Werner Schulemann, Elberfeld.

Die synthetische Chemie der Arzneistoffe kann in diesem Jahre auf ihr etwa vierzigjähriges Bestehen als systematischer Forschungszweig zurückblicken. Sie ist also noch ein recht junges Kind in der Reihe der alten Wissenschaften. Trotz vieler Erfolge will sie sich heute nicht übermütig ihrer Leistungen rühmen, sondern dankbar ihrer Eltern, der Medizin und der reinen Chemie, gedenken. Denn diesen beiden Disziplinen dankt sie nicht nur ihr Dasein, sie sind noch immer die Quellen ihrer Kraft und werden es auch in Zukunft bleiben. So hoffen wir nicht nur eine Pflicht der Pietät zu erfüllen, sondern auch einen Ausblick für die Zukunft zu gewinnen, wenn wir rückschauend den wechselseitigen Einfluß, welchen die Ideenkreise der Medizin und der Chemie aufeinander genommen haben, in seinen Auswirkungen auf das Gebiet der Arzneistoffchemie betrachten.

Der Grundstock der Arzneistoffe bestand in Produkten, welche schon in frühesten Zeiten die Menschen unter den von der Natur gebotenen Schätzen auffanden. Ihre Anwendung verlangte bald Spezialkenntnisse, die zuerst Zauberer und Priester hatten, bis sich später ein Ärztestand herausbildete. Frühzeitig ging man daran, durch Kombination der Naturstoffe nach neuen und besseren Heileffekten zu suchen, aber von einer systematischen chemischen Forschung konnte keine Rede sein.

Bis etwa zur Zeit des Paracelsus bewegte sich das chemische Forschen im wesentlichen in Bahnen, welche heute unter dem Namen *Alchemie* für diese Wissenschaft bekannt sind. Angestrebt wurde die Verwandlung der Metalle durch den Stein der Weisen, die rote Tinktur usw. Doch sei nur erinnert an die Zusammenhänge, die in den Vorstellungen vom Makrokosmos und Mikrokosmos, von den Planeten, Metallen und inneren menschlichen Organen gegeben sind, um zu zeigen, daß diese cabbalistische Verquickung von Chemie, Medizin und Astrologie die Materia medica im wesentlichen unverändert ließ. Die Therapie hielt an dem uralten Bestand ererbter galenischer Arzneimittel fest.

Durch das Auftreten von Paracelsus wurde Anfang des sechzehnten Jahrhunderts das *iatrochemische Zeitalter* eingeleitet. Chemisches Denken gewann zum erstenmal tiefen Einfluß auf die Medizin. Physiologische und pathologische Vorgänge wurden chemisch gedeutet. Durch chemische Bearbeitung der Materia medica förderte man den Arzneischatz rasch und in neuer Richtung. Dem Stande der chemischen Wissenschaft entsprechend fanden vor allem die anorganischen Arzneistoffe Bereicherung und Fortentwicklung. Arsen-, Antimon- und Quecksilberverbindungen fanden Eingang in den Arzneischatz. Ihrer spezifischen Wirkung wurde man sich bewußt und strebte schon damals danach, durch die Kunst des Spagyrikers die Verträglichkeit der Mittel zu verbessern und ihre Wirksamkeit zu erhöhen — wie es der „Chemotherapeut" auch heute wieder anstrebt.

In der folgenden Zeit der *phlogistischen Theorie*, welche Mitte des siebzehnten Jahrhunderts mit Boyle ihren Anfang nahm, bewegte sich der Zuwachs an Arzneistoffen im wesentlichen weiter in der gleichen anorganischen Richtung. Der Zusammenhang zwischen Chemie und Medizin lockerte sich, zumal die Ärzte sich von chemischen Erklärungsversuchen in ihrer Wissenschaft zeitweilig wieder mehr abgewendet hatten.

Eine erneute Annäherung der beiden nun schon lange selbständig gewordenen und ebenbürtig sich gegenüberstehenden Wissenschaften Chemie und Medizin vermittelte erst wieder die Anwendung der von Lavoisier Mitte des achtzehnten Jahrhunderts aufgestellte *Verbrennungstheorie* zur Deutung der Atmungsvorgänge durch Girtanner.

Die Anwendung *quantitativ-analytisch-chemischer Forschung* auf die Arzneistoffe und auf die Bestandteile des Tierkörpers knüpfte in der Folgezeit die Verbindung enger. Der Bildung gar zu einseitig chemischer Deutung der Lebens- und Krankheitsvorgänge wirkte regulierend die Entdeckung des Galvanismus und seine Übertragung auf medizinisches Denken entgegen.

Seit Anfang des neunzehnten Jahrhunderts können wir auf allen 3 Gebieten: der Pharmazie, der immer mehr zur selbständigen Wissenschaft werdenden Chemie und der Medizin ein viel rascheres Fortschreiten beobachten als es je in den vergangenen Zeiten stattgefunden hat. Die Medizin hatte namentlich Anatomie und Physiologie zu großer Höhe gebracht, und die Anfänge der Tierversuche liegen auch in jenen Zeiten. Als deren erste Vertreter nenne ich nur die Namen Marey, Magendie, Claude Bernard, da gerade sie eine der wichtigsten Grundbedingungen zum späteren weiteren Ausbau der Arzneistofforschung geschaffen haben. In der Chemie genügt die Nennung der Namen Wöhler, Liebig und vieler anderer, um daran zu erinnern, welche Weiterentwicklung diese Wissenschaft hatte. Der Pharmazie ist mit der Isolierung des Morphins aus dem Opium durch den Apotheker Sertürner ein besonderes Ver-

[1]) Vortrag in der Fachgruppe für Medizinisch-pharmazeutische Chemie auf der 40. Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker zu Essen. 10. Juni 1927.

dienst für die Entwicklung der Ära der Arzneistoffchemie zuzuschreiben, da sie damit den Anstoß gab zur Isolierung einer großen Menge pharmakologisch hochwichtiger Körper, welche nun die Chemie in Zusammensetzung und Aufbau zergliederte und aufklärte, während die Medizin in die Lage versetzt wurde ihre pharmakologischen Wirkungen zu analysieren. Ein weiterer Anstoß für die Arzneistoffsynthese ging aus von der nach der Entdeckung PERKINS entstehenden Teerfarbstoffindustrie, welche viele Chemikalien der Forschung zugänglich machte, die früher nicht oder nur schwer zu erhalten waren.

So waren im Anfang des neunzehnten Jahrhunderts rasch die Bedingungen entstanden, welche den Boden für eine *synthetische Arzneistofforschung* vorbereiteten. Einen Auftakt für die neue Ära bildete die Einführung des schon länger bekannten Äthers und des eben erst entdeckten Chloroforms — beide ohne natürliches Vorbild synthetisch hergestellte Verbindungen — in den Arzneischatz als Narkotica. Den eigentlichen Beginn systematischer Arzneistoffsynthese werden wir etwa in das Jahr 1887 legen können. In diesen Jahren fanden das Phenacetin und das Antipyrin, das Sulfonal und viele andere Verbindungen ihren Eingang in die Therapie. Es setzte nun bald eine lebhafte Arbeit sowohl von seiten der Chemiker wie der Mediziner ein. Man war so fest von dem Bestehen direkter gesetzmäßiger Beziehungen zwischen chemischer Konstitution und physiologischer bzw. pharmakologischer Wirkung überzeugt, daß man diese neue Periode der Beeinflussung medizinischen Handelns durch chemisches Denken vielleicht vergleichen kann mit der geistigen Einstellung des iatrochemischen Zeitalters. Aber wie damals, mußte auch jetzt die übliche Enttäuschung einer zu einseitigen theoretischen Auffassung einsetzen. Wohl gelang es auch weiterhin einige wertvolle Arzneistoffe aufzufinden. Aber man erkannte bald, daß die direkten Beziehungen zwischen Konstitution und Wirkung *auf ganz enge Gebiete umgrenzt werden mußten* und konnte auf rein deduktivem Wege keine sicheren Fortschritte erzielen. Die weiteren Fortschritte jener Zeit bestanden bald nur noch darin, die Mittel ihrer mitunter unangenehmen Eigenschaften in bezug auf Geschmack oder Verträglichkeit zu entkleiden, während Produkte mit neuer Indikation nur in spärlichem Ausmaß gefunden wurden. Von diesen seien hervorgehoben: das Urotroprin, das Atophan, die synthetischen Lokalanästhetica.

Bei kritischer Betrachtung der Leistungen dieser Periode können wir uns ferner der Erkenntnis nicht verschließen, daß die neuen Arzneistoffe fast alle nur *Symptomatica* waren. Nur gelegentlich und mittelbar wirkten sie ätiologisch, wenn sie regulierend in gestörte Organfunktionen des kranken Körpers eingreifend, die Selbstheilungskräfte des Organismus unterstützten.

Doch schon in jenen ersten Jahren der empirischen Arzneistoffsynthese waren neue Fortschritte angebahnt worden. Die *Pharmakologie* begnügte sich nicht mehr damit, nur die toxikologische Analyse der ihr von der Chemie gelieferten Stoffe vorzunehmen und einfach Tatsachen zu registrieren. *Sie begann nach Erklärungen zu suchen für die Wirkung aus der Reaktion zwischen Zellsubstanz und Gift.* Nicht direkt die chemische Konstitution, sondern die Eigenschaften der chemischen Stoffe wurden in Beziehung gebracht zu den Eigenschaften des biologischen Substrates auf das sie wirkten. Hervorgehoben seien die Farbstoffarbeiten von EHRLICH und die Arbeiten von H. H. MEYER und OVERTON über die Theorie der Narkose. Eingehend wurde die Verteilung der Stoffe im tierischen Organismus untersucht und in Beziehung gesetzt zu ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften. Diese physikalisch-chemische Auffassung kommt auch noch ganz klar in den ersten Arbeiten EHRLICHS zum Ausdruck, obwohl wir doch gerade gewöhnt sind in EHRLICH, dem Begründer der „Chemotherapie" und Schöpfer der „Chemozeptorentheorie", den besonders chemisch orientierten Forscher zu sehen. Diese neue Forschungsrichtung — sei sie nun mehr physikalisch oder chemisch eingestellt —, welche die biologische Deutung der Versuchsergebnisse ihrem Streben zugrunde legte, sollte bald auch zu praktischen Ergebnissen führen.

Im Salvarsan wurde der erste synthetische Heilstoff in die Therapie eingeführt, welcher rein *ätiologisch* wirkte. Aber noch in anderer Weise war die Schaffung des Salvarsans richtunggebend auf die Arzneistoffsynthese der folgenden Jahre. Sie zeigte, wie die biologischen und therapeutischen Eigenschaften anorganischer Stoffe weitgehend variiert werden können durch Einführung von anorganischen Gruppen in organische Bindungen. Zum erstenmal begegnen wir hier der zielbewußten Einigung anorganischer und organischer Chemie zur Synthese von Arzneistoffen, während wir früher stets nur beobachten konnten, wie diese Zweige der Chemie mehr oder weniger getrennt sich in der Arzneistoffsynthese ausgewirkt hatten. Die Auffindung weiterer ätiologisch wirksamer metallorganischer und anorganisch-organischer Komplexverbindungen, z. B. des Antimon, Wismuth und Quecksilber, waren die Folgen dieser Arbeitsrichtung.

Durch diese Erfolge begünstigt strebte die *Chemotherapie* danach, ihr Arbeitsgebiet von dem der Pharmakologie abzugrenzen mit der Definition: Die Chemotherapie will einen von Infektionserregern befallenen Organismus durch chemische Stoffe heilen. Die Pharmakologie erforscht im allgemeinen die Wirkung chemischer Stoffe auf höhere Lebewesen, meist aber beschränkt sie sich darauf, die Wirkung eines bestimmten Stoffes nur auf einen einzigen Organismus oder dessen Bestandteile zu untersuchen. Die Chemotherapie dagegen hat es mit zweiOrganismen zu tun, mit dem Organismus des Wirtes und dem des Parasiten, die beide gleichzeitig der Einwirkung eines Arzneistoffes unterworfen werden.

Dieser letzte Teil der Definition zeigt schon, daß eine Absonderung der Chemotherapie von der Pharmakologie nur dann berechtigt wäre, wenn die Chemotherapie auch nur in einem Falle nachweisen könnte, daß der chemische Stoff des Chemotherapeuten nur auf den Parasiten, gar nicht aber auf den Wirt wirkte. Das wäre natürlich das Ideal eines Arzneistoffes gegen Infektionskrankheiten. Aber noch sind wir nicht so weit, und der praktische Therapeut wird stets nicht nur wissen wollen, was der Stoff gegen den Parasiten leistet, er will vor allem auch genauestens orientiert sein über die Wirkungen des Stoffes auf den Wirt, ehe er mit gutem Gewissen einen Versuch am Menschen wagen darf. So wird die Chemotherapie weiter in der Gefolgschaft der Pharmakologie bleiben müssen, zumal die Chemikalien, mit denen die Chemotherapie arbeitet, prinzipiell keine anderen sind, als die von der Pharmakologie verwendeten, z. B. Chinin als Antipyreticum und gegen Malaria, Novasurol als Diureticum und gegen Syphilis, Calomel als Laxans und Antisyphiliticum, Brechweinstein als Emeticum und gegen Kala-azar, Bilharzia und venerisches Granulom. Dies trifft um so mehr zu, als von Fall zu Fall die Frage weiter geprüft werden muß, ob ein Stoff indirekt durch den Wirtsorganismus oder aber direkt auf den Krankheitserreger wirkt. Dann aber sind noch Serologie und Immunitätsforschung zu berücksichtigen, da die Bildung von Immunkörpern usw. meist Hand in Hand geht mit dem Verlauf einer Infektion und ihrer Heilung, gleichgültig auf welchem Wege diese geschieht.

Die Folgezeit brachte bald weitere Fortschritte auf dem Gebiet der ätiologisch wirkenden Heilmittel, aber die theoretischen Grundlagen, auf denen sie aufgebaut wurden, waren andere als die, welche zum Salvarsan führten. Trypanocide Farbstoffe waren seit langem bekannt. Da zeigte sich, daß auch diesen Farbstoffen ähnlich gebaute aber farblose Verbindungen stark gegen die Trypanosomeninfektion wirken können. Die Frucht dieser Entdeckung war das Germanin. Wieder andere Wege, bei denen andere Farbstoffe richtunggebend waren, führten uns zur Synthese des gegen Malaria wirksamen Plasmochin.

Bei dieser gegenüberstellenden Bewertung ätiologischer und symptomatischer Heilmittel aber dürfen wir nicht vergessen, daß es viel einfacher erscheinen muß, ein ätiologisches Heilmittel gegen eine Infektionskrankheit, deren Ursache wir in den — dem erkrankten Organismus artfremden — Protozoen oder Bakterien kennen, aufzubauen, als gegen *organische und konstitutionelle Erkrankungen* wie z. B. Gicht, Arteriosklerose, Lebercirrhose, Nephritis, grauen Star, Geisteskrankheiten, genuine Epilepsie, Carcinom usw., deren Ätiologie wir nicht oder nur ganz unvollkommen kennen, und welche, dazu noch arteigene Zellen, Organe oder Organsysteme, betreffen.

Aber auch hier sehen wir in der neuesten Zeit, daß das Dunkel sich zu lichten beginnt. In wahrem Sinne ist hier die Medizin Führerin geworden. Auf dem Gebiet der Hormone hat man das Insulin isoliert, die antidiabetische Wirkung des Galegins kennengelernt und auch schon im Synthalin synthetisch ein Heilmittel aufgebaut, das in die Therapie des Diabetes eingeführt wurde. Thyroxin, das Hormon der Schilddrüse wurde bekannt, und die Erforschung der Hormone, welche in den Geschlechtsdrüsen enthalten sind oder auf sie wirken wie die Hormone des Hypophysenvorderlappens schreitet schnell fort. Besonders hervorzuheben aber ist die chemische Erkenntnis des gegen Rachitis wirksamen Vitamins, des bestrahlten Ergosterins, das jetzt Vigantol heißt, durch WINDAUS. Ihm verdanken wir, daß zum ersten Male der Bann gebrochen wurde, der bisher über der ätiologischen Therapie der Systemerkrankungen lag. Das tatkräftige Eingreifen der *Physiologischen Chemie* hat so schnelle und überraschende Fortschritte gebracht, daß die Arzneistoffchemie nur hoffen kann, diesen neuen Bundesgenossen nicht nur zu behalten, sondern rasch erstarken zu sehen. Diese Erkenntnis hat ja auch bereits ihren Niederschlag gefunden in einer Resolution, welche der Verein deutscher Chemiker in seiner diesjährigen Tagung gefaßt hat.

So können wir feststellen, daß die letzten 15 Jahre der Arzneistoffsynthese nicht nur weitere Fortschritte gebracht haben, sondern auch berechtigte Hoffnung für die Zukunft erwecken. Ein Stillstand ist nicht eingetreten, dessen Symptome mancher Pessimist in der Überflutung des Arzneimittelmarktes durch Varianten und Variiönchen symptomatisch wirkender Mittel sehen wollte. Gegen diese Auswüchse kann nur die Erziehung des Arztes zu schärfster Kritik helfen. Aber diese Kritik muß objektiv sein. Von wirklicher Sachkenntnis getragen, darf sie nicht über das Ziel hinausschießen und damit der ernsthaften Arzneistoffchemie die Arbeit erschweren, indem sie die Prüfung selbst wertvoller Verbindungen verweigert. Sie muß auch dankbar eingedenk bleiben der Tatsache, wie vielen Millionen von Menschen selbst die Symptomatica Linderung, ja oft auch Heilung gebracht haben. Ohne die Mithilfe des Klinikers ist ein Fortschritt nicht denkbar, denn die Pharmakologie kann auf Grund der Tierversuche nur mit mehr oder weniger Wahrscheinlichkeit sagen, wie sich voraussichtlich ein Arzneistoff therapeutisch verhalten wird.

Sehr vielseitig sind die Aufgaben des Pharmakologen. Er muß in dem so erfolgreich beschrittenen Wege der biologischen Forschung weitergehen wie z. B. in der Erforschung der Biologie des Carcinoms, der Wirkung von Hormonen und Vitaminen, im weiteren Ausbau der an die Vitalfärbung anschließenden Probleme der Stoffverteilung, des intermediären Stoffwechsels, der Trephonbildung, der Reizkörpertherapie, in der Förderung der Therapie der Wurmkrankheiten und des fast noch jungfräulichen Bodens der Therapie bakterieller Infektionskrankheiten wie Tuberkulose und

Sepsis usw., um dem Chemiker Angriffspunkte für seine Arbeit zu liefern. Weiterhin aber muß er die von dem Chemiker dargestellten Verbindungen prüfen und auswerten.

Groß sind die Ansprüche, welche hier an Chemiker und Pharmakologen gestellt werden. Beide müssen zähe systematische Kleinarbeit leisten in dem Bewußtsein, daß wir von der Erkenntnis gesetzmäßiger Zusammenhänge von Konstitution und Wirkung noch weit entfernt sind und deshalb oft noch ähnlich primitive Wege wie unsere Vorfahren bei der Auffindung oder Verbesserung von Arzneistoffen gehen müssen. Rasche praktische Fortschritte aber werden nur da erzielt werden, wo gutes Allgemeinwissen, künstlerische Originalität und Intuition diese systematische Arbeit leiten und fördern. Frei von Voreingenommenheit und getragen von Optimismus muß ihr Schaffen sein, reguliert von schärfster objektiver Selbstkritik. Besonders aber sollten sie es auch verstehen, ihre persönlichen Interessen der Sache unterzuordnen, da die Zusammenarbeit vieler Forscher der verschiedensten Wissenschaftsgebiete notwendig ist zur Förderung der Arzneistoffsynthese. Der Fortschritt ist immer da gewesen, wo Chemiker, Pharmakologe und Kliniker sich gegenseitig unterstützend und fördernd zusammengestanden haben.

Die Entwicklung der neuen Quantenmechanik.

Von P. JORDAN, z. Zt. Kopenhagen.

(Schluß.)

5. De Brogliesche Wellen und Einsteinsche Gastheorie.

Bekanntlich hat EINSTEIN eine Reihe schwerwiegender Gründe dafür angeführt, daß das Licht, das sich in den Interferenzversuchen deutlich als eine Wellenbewegung offenbart, trotzdem in anderer Hinsicht am treffendsten beschrieben werden kann durch die Vorstellung von dahinfliegenden Lichtquanten mit der Energie $h\nu$ und dem translatorischen Impuls $\frac{h\nu}{c}$ — eine Hypothese, die insbesondere im COMPTONeffekt sich glänzend bewährt hat. DE BROGLIE[1]) hat es unternommen, diesen Satz gewissermaßen umzukehren: So, wie das Licht, das „einerseits" in ausgeprägtester Form die Eigenschaften von Wellen besitzt, in einer rätselhaften Weise „andererseits" sich als aus corpuscularen Lichtquanten bestehend erweist, so sollen auch die materiellen Korpuskeln, die Elektronen, eine Doppelnatur besitzen und in manchen ihrer Eigenschaften sich verhalten, wie eine durch den Raum verbreitete Wellenbewegung. Unter den verschiedenen Bemerkungen, die DE BROGLIE in bezug auf diese Vorstellung gemacht hat, ist die wichtigste die, daß eine Zuordnung von Wellen und Korpuskeln allgemein in invarianter Weise durchgeführt werden kann. Er ordnet einem Teilchen, dessen Energie (Ruhenenergie mc^2 plus kinetische) gleich E und dessen translatorischer Impuls gleich G ist, eine ebene Welle zu, deren Frequenz ν und Phasengeschwindigkeit V gegeben ist durch

$$h\nu = E, \quad V = \frac{E}{G}.$$

In einem anderen Koordinatensystem, das sich gleichförmig bewegt gegen das zuerst benutzte, wird das Teilchen andere Werte E', G' von Energie und Impuls besitzen; und die Welle wird, von hier, aus gesehen, andere Frequenz und Phasengeschwindigkeit: ν', V' besitzen (DOPPLEReffekt). Aber die DE BROGLIEschen Gleichungen sind eben so geschickt gewählt — und es ist eine bedeutungsvolle physikalische Tatsache, daß eine derartige Wahl überhaupt möglich ist — daß dann auch in diesem Koordinatensystem die Beziehungen zwischen Teilchen und Welle dieselben bleiben:

$$h\nu' = E', \quad V' = \frac{E'}{G'}.$$

DE BROGLIE hat ferner in seiner Arbeit ausführlich gewisse formale Analogien zwischen der klassischen Mechanik und der Optik studiert, die schon früher von HAMILTON aufgedeckt waren. Wenn wir die Bewegung des Lichtes verfolgen in einem inhomogenen (aber isotropen) Medium — wir wollen hier auch aufgestellte Schirme mit Kanten oder Öffnungen zu den Inhomogenitäten des Mediums rechnen — so erhalten wir besonders einfache und anschaulich faßbare Ergebnisse, wenn wir uns auf den Grenzfall sehr kleiner Wellenlängen beschränken. In diesem Grenzfall verschwinden alle durch Beugungen entstehenden verwickelteren Effekte; man kann die Ausbreitung des Lichtes mit den einfachen Begriffen des geometrischen Optik beschreiben. Es läßt sich dann zu jedem optischen Problem ein gewisses mechanisches Problem ausfindig machen (und umgekehrt) derart, daß die Bahnkurven im mechanischen Problem gerade dasselbe wie die Lichtstrahlen im optischen Problem sind. Dabei erkennt man eine enge Analogie zwischen optischen Begriffen und denjenigen mathematischen Größen, welche man in der HAMILTON-JAKOBischen Theorie der Mechanik als Hilfsmittel zur Berechnung und Verfolgung der Bahnkurven benutzt: die sog. Wirkungsfunktion der Mechanik entspricht der Phase im optischen Wellensystem; diejenigen Flächen im Raume, auf denen die mechanische Wirkungsfunktion konstant ist, sind dasselbe, wie die Wellenflächen der Optik, die gemäß dem HUYGENSschen Prinzip konstruiert werden können — und die bekannte HAMILTON-JAKOBische Differentialgleichung kann gerade als

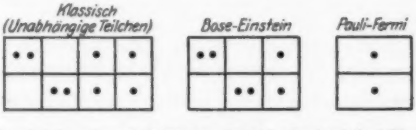
[1]) L. DE BROGLIE (26a). — Die eingeklammerten Literaturnummern beziehen sich auf die Zusammenstellung S. 648.

Ausdruck dieses HUYGENSschen Prinzipes angesehen werden. Endlich ist das FERMATsche Prinzip des kürzesten Lichtweges, wenn man es in die Mechanik überträgt, nichts anderes, als eine etwas abgeänderte Form des HAMILTONschen Variationsprinzipes der Mechanik (nämlich das sog. MAUPERTUISsche Prinzip).

Diese Analogie zwischen Optik und Mechanik geht verloren, wenn die Wellenlängen des Lichtes größer gewählt werden. Die DE BROGLIE-EINSTEINschen und die anknüpfenden SCHRÖDINGERschen Überlegungen gehen darauf aus, diese Analogie auch für den Fall endlicher Wellenlängen wiederherzustellen: man muß dazu eben eine Abänderung bzw. Verallgemeinerung der klassischen Mechanik vornehmen, die genau dem Übergang der geometrischen Optik zur Wellenoptik entspricht. Man kann nach diesem Gesichtspunkt erwarten, daß die klassische Mechanik immer dann zu praktisch richtigen Resultaten führt, wenn die Wellenlänge der DE BROGLIEschen Strahlung klein ist im Vergleich zu den Krümmungsradien der klassisch berechneten Bahnkurven; ist das jedoch nicht mehr der Fall, so wird die Möglichkeit, Bahnen eines Massenpunktes im klassischen Sinne anzugeben, gänzlich entfallen und eine allgemeinere wellenmechanische Behandlung des Problems muß durchgeführt werden. Man kann in der Tat sehen, daß beispielsweise für das Elektron im Grundzustande eines Wasserstoffatoms die zugeordnete DE BROGLIEsche Wellenlänge durchaus nicht klein im Vergleich zu den Bahndimensionen ist, und man versteht danach, daß im Bereiche der Atome die klassische Mechanik versagen mußte.

Man kann übrigens nach SCHRÖDINGER — wie hier vorausgreifend bemerkt sei — die Analogie von Optik und Mechanik noch in etwas anderer Weise erläutern. Es ist möglich, mit Hilfe von Wellen, deren Frequenzen sämtlich nur in einem sehr schmalen Bereiche $d\nu$ liegen, ein „Energiepaket" zu bilden, dessen Energie in einem sehr kleinen räumlichen Bereiche konzentriert ist. Dabei ist freilich die Länge dieses Wellenpaketes immerhin noch groß im Vergleich zu den Wellenlängen, durch deren Superposition es gebildet ist. In dem Fall aber, daß diese Wellenlängen klein genug sind, um eine Beschreibung der Vorgänge mit den Methoden der geometrischen Optik zu ermöglichen, läßt sich erreichen, daß das Energiepaket längere Zeit zusammenhält. [Auf die Dauer läuft freilich, von speziellen Fällen[1]) abgesehen, ein solches Wellenpaket doch auseinander.] Dieses Wellenpaket beschreibt dann eine Bahn, die übereinstimmt mit der Bahn des Massenpunktes in dem entsprechenden Problem der klassischen Mechanik. SCHRÖDINGER hat diesen Umstand verwertet für seinen Versuch, die quantenmechanischen Tatsachen in den Rahmen der klassischen Raumzeitauffassung einzufügen: Er möchte derartige Energiepakete geradezu als Modelle von Lichtquanten oder materiellen Korpuskeln betrachten. Nach den Auffassungen, die diesem Berichte zugrunde liegen, wird man jedoch dieser Ansicht nicht beipflichten können[1])

Mit den DE BROGLIEschen Gedanken steht in enger Verbindung die EINSTEINsche Gastheorie. Die Vorstellung, daß der elektromagnetische Hohlraum anstatt wellenförmiger Schwingungen ein corpusculares „Quantengas" enthält, führt, wenn man auf dieses Quantengas die klassische Gasstatistik anwendet, nicht zum PLANCKschen, sondern zum WIENschen Strahlungsgesetz. Man kann jedoch, wie BOSE[2]) gezeigt hat, durch eine zunächst sehr sonderbar und unverständlich anmutende Abänderung der klassischen Gasstatistik das PLANCKsche Gesetz erhalten. Man teilt zunächst den Phasenraum der Lichtquanten in Zellen der Größe h. Denken wir uns für den Augenblick, daß der Phasenraum (statt unendlich vieler) nur zwei Zellen enthielte, und daß zwei Gasatome darin vorhanden seien. Dann gibt es, wenn die beiden Atome unabhängig voneinander in die Zellen geworfen werden, nach der elementaren Wahrscheinlichkeitsrechnung vier gleichwahrscheinliche Verteilungen der Atome; die Wahrscheinlichkeit, daß in jeder der beiden Zellen ein Atom ist (was in zwei von den vier möglichen Fällen eintritt), wird gleich $\frac{1}{2}$. Aber nach BOSE verhalten sich die Lichtquanten anders: bei ihnen ist der Zustand, wo je ein Quant in jeder Zelle ist, ebenso (nicht: doppelt so) wahrscheinlich, wie derjenige, wo z. B. in der ersten der beiden Zellen beide Quanten sitzen. Die eingefügte Zeichnung mag diese Verhältnisse anschaulich erläutern. (Neben der klassischen und der BOSE-EINSTEINschen Statistik ist darin auch die von FERMI und DIRAC auf das sog. PAULIsche Prinzip gegründete Statistik erläutert; diese wird in einem späteren Abschnitt besprochen.) Allgemein ausgesprochen:



Die gleichwahrscheinlichen Zustände sind bei BOSE nicht, wie klassisch, beschrieben durch die Angabe, welche Atome (Quanten) in welchen Zellen sitzen, sondern durch die Angabe, wieviel Atome (Quanten) in jeder Zelle sitzen.

EINSTEIN[3]) hat, geleitet von der Hypothese der Wesensgleichheit korpuskularer und wellenförmiger Strahlung, diese BOSEsche Statistik auch auf das

[1]) E. SCHRÖDINGER (27).

[1]) [Anmerkung bei der Korrektur. Die wirkliche Bedeutung der Wellenpakete im Sinne der hier zugrunde gelegten Auffassungen ist klargestellt von W. HEISENBERG in einer im Erscheinen begriffenen Arbeit, die sich an die im letzten Abschnitt dieses Berichtes besprochenen Untersuchungen anschließt.]

[2]) S. N. BOSE (28).

[3]) A. EINSTEIN (29).

materielle ideale Gas übertragen. Das PLANCKsche Gesetz unterscheidet sich dadurch vom WIENschen, daß an Stelle von $e^{-\frac{h\nu}{kT}}$ der Ausdruck $\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}}-1}$ steht. In der EINSTEINschen Gasstatistik tritt entsprechend für den in der MAXWELLschen Geschwindigkeitsverteilung auftretenden Ausdruck $e^{-\frac{L}{kT}}\left(L=\frac{1}{2}mv^2\right)$ der Ausdruck $\frac{1}{e^{a(T)+\frac{L}{kT}}-1}$ ein[1]).

Die damit erhaltenen Abweichungen von den Ergebnissen der klassischen Theorie sind praktisch belanglos, solange man dem Gebiete sehr tiefer Temperaturen fern bleibt; sie führen jedoch dazu, daß auch für das ideale Gas der NERNSTsche Wärmesatz gültig wird. Theoretisch führen sie ferner zu der Notwendigkeit einer (natürlich gleichfalls nur bei tiefen Temperaturen merklichen) Abänderung am Stoßzahlansatz der Gastheorie sowie an den Wahrscheinlichkeitsgesetzen für die sonstigen Wechselwirkungen der Atome untereinander oder mit Licht (Absorption und Emission, Zerstreuung; Verbindungen der Atome, Dissoziationen, Ionisierungen usw.). Alle diese Wechselwirkungen sind klassisch einfach als proportional mit den Konzentrationen aller beteiligten materiellen Partner anzusetzen [Massenwirkungsgesetz][2]), doch ist diese einfache Proportionalität nur mit der MAXWELLschen Geschwindigkeitsverteilung, nicht mit der EINSTEINschen verträglich. Es sei erwähnt, daß die Hypothese der Wesensgleichheit korpuskularer und wellenförmiger Strahlung auch diese Schwierigkeiten in sehr einfacher und natürlicher Weise aufzulösen vermag[3]).

Die zunächst so paradoxe Annahme der BOSEschen Statistik wird verständlich, sobald man wieder die wellentheoretische Seite der Sache ins Auge faßt. Der elektromagnetische Hohlraum ist wellentheoretisch nichts anderes, als ein System ungekoppelter Resonatoren, Eigenschwingungen. Nach der Quantentheorie muß eine jede dieser Eigenschwingungen gequantelt sein; einer der gleichwahrscheinlichen Zustände des Gesamtsystems der Resonatoren ist zu beschreiben durch Angabe der Quantenzahl jeder Eigenschwingung. Das ist aber genau die BOSEsche Statistik; nur daß die „Eigenschwingung" in der Korpuskulartheorie „Zelle" heißt, wobei die „Quantenzahl der Eigenschwingung" als „Anzahl der Quanten" in dieser Zelle bezeichnet wird. Entsprechend wird mit den DE BROGLIEschen Wellen die EINSTEINsche Gastheorie verständlich[1]). Die Quantenmechanik macht es aber möglich, wie HEISENBERG und DIRAC gezeigt haben, auch vom rein korpuskulartheoretischen Standpunkt aus die EINSTEINsche Gastheorie zu verstehen. Wir kommen darauf in einem späteren Abschnitt zurück.

Man kann noch aus einem anderen Zusammenhange eine Stütze für die DE BROGLIEsche Hypothese gewinnen. DUANE[2]) hat es verstanden, die einfachsten Interferenzen, nämlich diejenigen an einem unendlich ausgedehnten Krystallgitter von fehlerloser Regelmäßigkeit, im Anschluß an die Lichtquantentheorie ganz ohne Heranziehung wellentheoretischer Bilder zu deuten. Nach COMPTON[3]) kann man DUANES Gedanken etwa so formulieren: Wird ein unendliches Krystallgitter gleichförmig translatorisch bewegt (am einfachsten etwa in der Richtung einer der Achsen des Krystalls), so ist diese Bewegung gewissermaßen eine periodische: jedesmal dann, wenn das Gitter sich gerade um einen Atomabstand in der fraglichen Richtung bewegt hat, ist wegen der vorausgesetzten vollkommenen Regelmäßigkeit des Gitters ein von dem alten Zustand nicht unterscheidbarer Zustand wiederhergestellt und eine „Periode" der Bewegung abgeschlossen. Danach kann diese Bewegung also gequantelt werden. Erleidet nun das Gitter einen „Zusammenstoß" mit einem korpuskularen Teilchen, so kann dabei nichts anderes geschehen — man denke an die FRANCK-HERTZschen Elektronenstöße als Analogie — als ein Quantensprung des Krystallgitters.

Die Quantelung der Bewegung des Krystalls führt dann dazu, daß das stoßende Teilchen nur ganz bestimmte Impulsbeträge verlieren und nur nach ganz bestimmten Richtungen reflektiert werden kann; und zwar ein Lichtquant mit der Energie $h\nu$ und dem Impuls $\frac{h\nu}{c}$ eben in den Richtungen, in welchen nach v. LAUE eine Wellenlänge $\lambda=\frac{c}{\nu}$ reflektiert wird. EPSTEIN und EHREN-

[1]) Daß hierin $a(T)+\frac{L}{kT}$ statt $\frac{E}{kT}$, wie im PLANCKschen Gesetz steht, rührt davon her, daß die Anzahl der Atome als fest gegeben vorausgesetzt wird. Wenn man diese Voraussetzung fallen läßt, also annimmt, daß materielle Atome durch Umwandlung ihrer Energie in Strahlung vernichtet bzw. umgekehrt neu gebildet werden — bekanntlich ist diese von EDDINGTON herrührende Vorstellung im Anschluß an die Untersuchungen über die durchdringende Höhenstrahlung letzthin vielfach erörtert worden — so wird durch die EINSTEINsche Statistik eine thermodynamische Gleichgewichtskonzentration des Gases bestimmt, und zwar in Übereinstimmung mit einem von O. STERN (30) kürzlich auf anderem Wege abgeleiteten Ergebnis. (Vgl. P. JORDAN [31]; P. LANGEVIN [32].)

[2]) D. h. insbesondere z. B. proportional mit dem Quadrate einer Konzentration, wenn sich zwei gleiche Teilchen an jedem Elementarakt der Reaktion beteiligen.

[3]) P. JORDAN (33).

[1]) Diese von EINSTEIN selbst gegebene Aufklärung seiner Gastheorie durch Heranziehung der DE BROGLIEschen Wellen ist von SCHRÖDINGER (34) sowie von BORN, HEISENBERG und JORDAN (3) ausführlicher erläutert worden.

[2]) W. DUANE (35).

[3]) H. A. COMPTON (36).

FEST[1]) haben gezeigt, daß diese Überlegungen auch für die Interferenzen an einem endlichen und beliebig unregelmäßigen Gitter verallgemeinert werden können. Sie müssen aber, wenn ihre Grundlage überhaupt richtig ist, auch für Zusammenstöße des Gitters mit materiellen Korpuskeln gültig sein[2]); und man ersieht leicht, daß diese sich danach bezüglich der möglichen Reflexionsrichtungen genau wie Wellen mit dem λ der entsprechenden DE BROGLIEschen Welle verhalten. Nach Untersuchungen von GERMER und DAVISSON[3]) scheint eine solche Interferenz von Elektronenstrahlen, die an Krystallen reflektiert werden, empirisch wirklich nachweisbar zu sein. Ältere Ergebnisse von DAVISSON und KUNSMANN sind schon von ELSASSER[4]) durch die DE BROGLIESche Hypothese gedeutet worden.

6. *Die Schrödingersche Theorie.*

Wenn wir zunächst einmal die Mechanik eines einzigen Elektrons in einem elektromagnetischen Felde betrachten, so stellt die SCHRÖDINGERsche Theorie nichts anderes als die folgerichtige Durchführung und Ausgestaltung der DE BROGLIEschen Ideen dar. Die früher besprochenen DE BROGLIEschen Gleichungen bestimmten die Frequenz (und Phasengeschwindigkeit) für ein kräftefrei geradlinig bewegtes Teilchen; die Wellenamplitude war dabei als im ganzen Raume gleich große angenommen. Für ein Teilchen mit beschleunigter und krummliniger Bewegung werden jedoch die Verhältnisse komplizierter, und die DE BROGLIEschen Gleichungen müssen geeignet verallgemeinert werden. Dies ist SCHRÖDINGER gelungen, der eine Differentialgleichung angegeben hat, durch welche die Amplitude der DE BROGLIEschen Wellen (als Funktion des Ortes) und ihre Frequenz allgemein bestimmt wird. Wir wollen bei der Erläuterung dieser Differentialgleichung und bei der Darlegung ihres Zusammenhanges mit der Matrizentheorie uns wieder auf ein System von nur einen einzigen Freiheitsgrad, also einen eindimensional bewegten Massenpunkt beziehen. Dieser hat eine gewisse Energiefunktion

$$H = \frac{1}{2m} p^2 + U(q),$$

worin wiederum p den Impuls $m\dot{q}$ bedeutet; $U(q)$ ist die (als nicht explizit abhängig von der Zeit angenommene) potentielle Energie des Teilchens. Zur Übersetzung dieser korpuskularmechanischen Verhältnisse in die Wellenmechanik ersetzen wir in der Energiefunktion den Impuls p durch den Differentialoperator $\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial q}$ und bilden die Schwingungsgleichung

$$\left\{\frac{1}{2m}\left(\frac{h}{2\pi i}\right)^2 \frac{\partial^2}{\partial q^2} + U(q) - W\right\} \varphi(q) = 0.$$

Hierin ist also $\varphi(q)$ die Amplitude der SCHRÖDINGERschen Welle; W ist eine konstante Zahl. Wir suchen solche Lösungen $\varphi(q)$ der Differentialgleichung, welche in unserem ganzen eindimensionalen Raume, also auf der ganzen q-Achse, überall eindeutig und endlich sind; auch im Unendlichen soll die Lösung noch endlich bleiben. Diese Forderungen sind nach bekannten mathematischen Sätzen im allgemeinen nicht für jeden Wert des Parameters W zu erfüllen; diejenigen speziellen Werte W, für welche sie erfüllbar sind, werden von den Mathematikern als „Eigenwerte" der Differentialgleichung bezeichnet. Es kann vorkommen, daß diese Eigenwerte alle diskret verteilt sind; es kann aber auch der Fall eintreten, daß alle reellen Zahlen in einem gewissen Intervall Eigenwerte sind, oder endlich, daß sowohl diskret verteilte als auch andere, sich kontinuierlich folgende Eigenwerte vorhanden sind. Nach SCHRÖDINGER sind nun diese Eigenwerte nichts anderes, als die exakten quantenmechanischen Werte der Energien des Systems in seinen verschiedenen stationären Zuständen: bei Systemen, welche, wie der harmonische Oscillator, im Sinne der Korpuskularmechanik nur periodische Bewegungen ausführen können und dementsprechend nur diskrete Quantenzustände besitzen, sind auch sämtliche Eigenwerte diskret verteilt. Dagegen sind beispielsweise bei der zum Wasserstoffatom gehörigen Differentialgleichung einerseits die unendlich vielen diskreten Zahlen $W_n = -c\frac{Rh}{n^2}$ $(n = 1, 2 \ldots)$ Eigenwerte (R = RYDBERGkonstante) und andererseits sind auch alle Zahlen $W > 0$ Eigenwerte der Differentialgleichung. Die diskreten Eigenwerte entsprechen den Ellipsenbahnen der Korpuskulartheorie und sind im Einklang mit der BALMERformel; die kontinuierlich verteilten Eigenwerte entsprechen den korpuskularmechanischen Hyperbelbahnen, deren Energie ungequantelt ist. Die von SCHRÖDINGER gemachte Entdeckung, daß man auf dem angedeuteten Wege wirklich die richtigen Energieterme für das Wasserstoffatom erhält, ist nicht nur physikalisch als eine grundlegende Leistung anzusehen, sondern auch rein mathematisch von größter Wichtigkeit. Die Mathematiker haben, besonders unter der Führung HILBERTS, schon seit langem die mit den Eigenwerten von Differentialgleichungen zusammenhängenden mathematischen Probleme durchforscht; und es war längst bekannt, daß es Differentialgleichungen geben mußte, bei denen sowohl diskrete als auch kontinuierlich verteilte Eigenwerte auftreten. Aber es war nicht gelungen, nur ein einziges Beispiel einer einfachen Differentialgleichung, bei der das der Fall ist, wirklich anzugeben. SCHRÖDINGER hat dieses erste Beispiel geliefert.

Wir kommen nun zur Ableitung der Matrizen aus der SCHRÖDINGERschen Theorie. Wir wollen dabei der Einfachheit halber annehmen, daß wir es mit einem System zu tun haben, das nur in diskreten Quantenzuständen auftritt. Wir können

[1]) P. EPSTEIN und P. EHRENFEST (37).
[2]) P. JORDAN (38).
[3]) GERMER und DAVISSON (39).
[4]) W. ELSASSER (40).

also die verschiedenen Eigenwerte der SCHRÖDINGERschen Differentialgleichung in irgendeiner Reihenfolge, etwa ihrer Größe nach, mit 1, 2, 3 ... nummerieren. Zu jedem Eigenwerte W_n gehört dann eine entsprechende Lösung $\varphi_n(q)$ der Schwingungsgleichung, die man als die zu W_n gehörige „Eigenfunktion" bezeichnet. Wir bilden jetzt Matrizen q und p, indem wir ihre Elemente berechnen nach den Formeln:

$$q(nm) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_n(q)\, q\, \varphi_m^*(q)\, dq;$$

$$p(nm) = \frac{h}{2\pi i} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_n(q)\, \frac{\partial \varphi_m^*(q)}{\partial q}\, dq.$$

Darin ist φ^* die konjugiert komplexe Größe zu φ. SCHRÖDINGER[1]), PAULI[2]) und ECKART[3]) haben gezeigt, daß diese so gebildeten Matrizen wirklich übereinstimmen mit denjenigen Matrizen, welche man gemäß der früher erläuterten Theorie als Lösung des quantenmechanischen Problems erhält.

Natürlich kann auf den Beweis dieser mathematischen Behauptung hier nicht eingegangen werden; wesentlich für den Beweis ist die schon von BORN und WIENER[4]) hervorgehobene und für die Quantenmechanik nutzbar gemachte Tatsache, daß für die Operatoren $\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial q}$ und q (d. h. Multiplikation mit q) dieselbe Vertauschungsregel wie für die Matrizen pq gilt:

$$\frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial q} q - q \frac{h}{2\pi i}\frac{\partial}{\partial q} = \frac{h}{2\pi i}.$$

Genauer erläutert: wenn wir auf irgendeine Funktion $f(q)$ des Argumentes q die Operation q anwenden, d. h. sie mit q multiplizieren, und hernach auf das Resultat den Operator $\frac{\partial}{\partial q}$ anwenden (also nach q differenzieren), und wenn wir hiervon subtrahieren dasjenige, was wir erhalten, wenn wir auf $f(q)$ erst $\frac{\partial}{\partial q}$ und dann q anwenden, so bekommen wir wieder die Funktion $f(q)$; d. h. wir bekommen dasjenige, was wir auch direkt durch die Operation 1, d. h. Multiplikation mit der Zahl 1 erhalten hätten. (In der obigen Gleichung kommt überall noch die Multiplikation mit $\frac{h}{2\pi i}$ hinzu).

BORN und WIENER haben als erste erkannt, daß das Rechnen mit solchen Operatoren die naturgemäßeste mathematische Methode für die quantenmechanischen Probleme ist. Zwei Operatoren miteinander multiplizieren, heißt denjenigen Operator herstellen, der dasselbe ergibt, wie durch Anwendung der beiden Operatoren nacheinander zu erhalten ist; diese Multiplikation von Operatoren befolgt ganz dieselben Gesetze, wie die symbolische Multiplikation der quantenmechanischen Größen. Man kann übrigens neben den Operatoren, die aus q und $\frac{\partial}{\partial q}$ durch Additionen und Multiplikationen zusammenzusetzen sind, auch mit Hilfe von Integralen Operatoren bilden. Ist nämlich $g(x, y)$ eine Funktion von zwei Veränderlichen, so können wir durch die Gleichung

$$F(x) = \int dy \cdot g(x, y)\, f(y)$$

zu irgendeiner Funktion f eine zugeordnete Funktion F hinzudefinieren, von der man auch sagt, daß sie durch den Operator

$$J = \int dy \cdot g(x, y) \ldots$$

aus f hervorgeht. Dabei nennt man $g(x, y)$ die „erzeugende Funktion" des Operators. Das Rechnen mit Operatoren ist von den Mathematikern schon vor langer Zeit eingeführt worden, hat aber gerade in der neueren Zeit von seiten der Mathematiker verhältnismäßig wenig Pflege gefunden, weil es oft sehr schwierig ist, das formale Rechnen mit diesen Operatoren hinsichtlich aller Konvergenzschwierigkeiten usw. mathematisch exakt zu begründen. Für die Quantenmechanik jedoch gibt die Operatorenmethode die naturgemäße Darstellung wichtiger allgemeiner Gesetzmäßigkeiten, und man muß die vielfach auftretenden Unvollkommenheiten hinsichtlich der exakten mathematischen Rechtfertigung dieser Methode vorläufig in Kauf nehmen; es wäre sehr zu wünschen, daß diese Probleme auch von seiten der Mathematiker wieder lebhafter verfolgt würden.[1])

Der erläuterte Zusammenhang der SCHRÖDINGERschen mit der Matrizentheorie findet sich nun auch bei Systemen von mehreren Freiheitsgraden wieder. So kann z. B. die quantentheoretische Mechanik eines Systems von drei Freiheitsgraden, also eines einzigen Massenpunktes, aus einem Wellensystem im dreidimensionalen Raume abgeleitet werden. Gehen wir aber über zu Systemen mit noch mehr Freiheitsgraden, so erhalten wir nach dem SCHRÖDINGERschen Verfahren nicht mehr ein zugeordnetes Wellensystem im dreidimensionalen Raume, sondern die SCHRÖDINGERschen Wellen sind ausgebreitet in einem abstrakten Raume, der ebenso viel Dimensionen besitzt, wie das System Freiheitsgrade hat: also z. B. für zwei Massenpunkte sechs, für drei Massenpunkte neun Dimensionen usw. Man sieht, daß hier die SCHRÖDINGERsche Theorie sich wesentlich unterscheidet von dem DE BROGLIE-EINSTEINschen Programm. Nach EINSTEIN sollte das ideale Gas in einem geschlossenen Kasten aufzufassen sein als ein Wellensystem, welches in diesem dreidimensionalen Kasten schwingt, genau so, wie das Lichtquantengas für ein Wellensystem im dreidimensionalen elektro-

[1]) E. SCHRÖDINGER (5).
[2]) W. PAULI jr. (6).
[3]) C. ECKART (7).
[4]) M. BORN und N. WIENER (41).

[1]) Durch die wichtigen Untersuchungen von N. WIENER zur mathematischen Theorie der Operatoren ist bislang nur erst ein verhältnismäßig kleiner Ausschnitt der für den Physiker wesentlichen Fragen geklärt worden.

magnetischen Hohlraum anzusehen ist; aber dasjenige Wellensystem, durch das nach SCHRÖDINGER die quantenmechanischen Eigenschaften des idealen Gases bestimmt werden können, schwingt eben nicht in gewöhnlichem Raume, sondern in dem abstrakten „Koordinatenraume" der Gasatome; dieser besitzt, wenn 10^{24} Atome vorhanden sind, 3.10^{24} Dimensionen.

Einen grundsätzlich wichtigen Fortschritt erzielt die SCHRÖDINGERsche Theorie im Problem der Quantelung: wir haben ja eben gesehen, wie die Existenz diskreter Quantenzustände abgeleitet werden kann aus der Forderung, daß die SCHRÖDINGERsche Wellenamplitude im ganzen Koordinatenraume (einschließlich des Unendlichen) eindeutig und endlich sein soll — eine Forderung, die unserem physikalischen Verständnis offenbar schon sehr viel näher liegt, als die formale Forderung ganzzahliger Wirkungsvariabeln J.

Die überragende praktische Bedeutung der SCHRÖDINGERschen Ergebnisse liegt endlich darin, daß sie eine solche Formulierung des mathematischen Problems der Quantenmechanik geliefert haben, welche die Inangriffnahme dieses Problems mit bekannten und hochentwickelten mathematischen Methoden möglich machten. Daß die neue Quantenmechanik beim Wasserstoffatom wirklich die BALMERformel in richtiger Weise liefert, ist schon vor SCHRÖDINGER von PAULI[1]) und DIRAC[2]) gezeigt worden; aber es schien hoffnungslos, mit den dabei angewandten Methoden auch die Übergangswahrscheinlichkeiten (Matrixelemente) beim Wasserstoffatom berechnen zu wollen. Hier hat die SCHRÖDINGERsche Methode rettend eingegriffen: während die ursprüngliche Matrizentheorie das mathematische Problem der Quantenmechanik formulierte mit Hilfe von unendlich vielen Gleichungen für unendlich viele Unbekannte, und während die q-Zahlmethode zwar analytisch geschmeidiger, aber doch in ihrer befremdenden Neuartigkeit schwer zu handhaben war, hat SCHRÖDINGER das mathematische Problem der Quantenmechanik zurückgeführt auf eine lineare, partielle Differentialgleichung der zweiten Ordnung, die sich zudem in den wichtigsten Fällen ohne weiteres in einige gewöhnliche lineare Differentialgleichungen zweiter Ordnung zerlegen ließ. Damit war man auf mathematische Probleme gekommen, wie sie seit mehr als hundert Jahren nach allen Richtungen hin von den Mathematikern untersucht und verfolgt worden sind. Es zeigte sich sogar, daß in vielen Fällen die Differentialgleichungen, welche man so für die wichtigsten speziellen mechanischen Probleme erhielt, zu den bestbekannten klassischen Differentialgleichungen der Mathematik gehören, und eine unmittelbare Anwendung wohlbekannter mathematischer Funktionen — Kugelfunktionen, HERMITEsche und LAGUERREsche Polynome usw. — ermöglichen. SCHRÖDINGER selbst hat mit der vollständigen Berechnung der Eigenfunktionen des Wasserstoffatoms das wichtigste quantenmechanische Spezialproblem der ganzen Atomphysik erschöpfend gelöst. Andererseits haben die SCHRÖDINGERschen Untersuchungen unentbehrliche Gesichtspunkte geliefert sowohl für die Anwendung der Quantenmechanik auf alle aperiodischen Prozesse — Hyperbelbahnen beim Wasserstoff und anderen Atomen, Anregung von Atomen durch Elektronenstöße — als auch für die später durchgeführte grundsätzliche Vertiefung und Erweiterung der HEISENBERGschen Theorie.

Man kann nach SCHRÖDINGER[1]) auch eine Störungstheorie im Rahmen seiner Theorie entwickeln; sie ist im Prinzip ganz dasselbe, wie die Störungstheorie der Matrizenmechanik. Andererseits kann sie als eine Verallgemeinerung eines von LORD RAYLEIGH angegebenen Verfahrens angesehen werden, nach welchem dieser z. B. schwingende Saiten behandelt hat, die inhomogen sind, aber nur wenig von der Homogenität abweichen. Auch dieses liefert eine Beispiel für die starke Konzentration mathematischer Methoden, die in der heutigen Quantenmechanik erreicht worden ist, bei der viele sonst ohne Beziehung zueinander erscheinende mathematische Sätze sich als nur verschiedene Darstellungen derselben Tatsachen erwiesen haben. Man kann dann natürlich auch mit dem SCHRÖDINGERschen Formalismus eine Ableitung der Dispersionsformel von KRAMERS und HEISENBERG durchführen[2]).

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Problem des Zusammenhanges der SCHRÖDINGERschen Funktion mit den elektromagnetischen Feldgrößen gewidmet worden. Wenn wir uns beschränken auf das quantenmechanische Problem eines einzigen Elektrons, um der erörterten Notwendigkeit einer Betrachtung mehrdimensionaler Räume zu entgehen, so stehen wir vor der Frage, wie die jetzt im dreidimensionalen Raume ausgebreitete SCHRÖDINGERsche Funktion mit dem elektromagnetischen Felde in Wechselwirkung tritt. Die genauere Kenntnis dieser Wechselwirkungen ist notwendig für die Beurteilung aller feineren Fragen, die in der spontanen Lichtemission der Atome und der Zerstreuung des Lichtes an dem Atom zusammenhängen (z. B. Polarisation der Resonanzstrahlung bei Richtungsentartung usw.). DIRAC[3]) war es bereits gelungen, nach der Methode der q-Zahlen die Intensität der COMPTONschen Streustrahlung in Abhängigkeit vom Streuwinkel exakt zu berechnen. Diese Überlegungen sind dann von GORDON[4]) mit der SCHRÖDINGERschen Methode

[1]) W. PAULI jr. (42).
[2]) P. A. M. DIRAC (23).

[1]) E. SCHRÖDINGER (43).
[2]) E. SCHRÖDINGER (44). SCHRÖDINGER hat versucht, bei dieser Gelegenheit auch die physikalische Bedeutung der Dispersionsformel in einer seinen allgemeinen quasiklassischen Ideen entsprechenden Weise abzuändern und z. B. die Nichtexistenz der sog. „inkohärenten Streustrahlung" anzunehmen; doch dürfte diese Abänderung schwerlich mit der Wirklichkeit übereinstimmen.
[3]) P. A. M. DIRAC (25), (45).
[4]) W. GORDON (46).

wiederholt worden: indem GORDON bestimmte Ansätze für die Wechselwirkung von SCHRÖDINGERS Funktion und elektromagnetischem Felde machte, konnte er rein wellenmechanisch die gleichen Ergebnisse wie DIRAC erhalten. Die GORDONschen Überlegungen sind kürzlich von SCHRÖDINGER[1]) weiter verfolgt worden. Aber es bleiben in diesem Problemkreis noch viele Fragen vorläufig ungelöst, ganz abgesehen von der erörterten grundsätzlichen Schwierigkeit, daß die zu den Lichtquanten gehörigen Wellen im gewöhnlichen dreidimensionalen Raume, die zu den Elektronen gehörigen Wellen dagegen in mehrdimensionalen Räumen verlaufen.

Man wird — dies sei hier eingeschaltet — beim Nachdenken über diese Schwierigkeiten auch den Umstand berücksichtigen müssen, daß die gewöhnliche klassische Wellentheorie des Lichtes durchaus nicht in Ordnung ist. Sie liefert zwar alle experimentell untersuchten Interferenzerscheinungen in völliger Übereinstimmung mit der Erfahrung; aber das liegt nur daran, daß wir in unserem optischen Experiment stets nach dem Zeitmittel der Lichtintensität an irgendeiner Stelle fragen. Experiment und Theorie würden weit auseinandergehen, wenn wir (was bis jetzt nicht gelungen ist), auch Intensitätsschwankungen des Lichtes empirisch verfolgen könnten. Man kann aber, wie EINSTEIN erkannt hat, über diese Intensitätsschwankungen rein thermodynamisch einige Aussagen machen. Wir wollen uns vorstellen, daß von einem großen mit schwarzer Strahlung erfüllten Hohlraum ein kleines Volumstück V abgetrennt wird derart, daß nur die Strahlung eines schmalen Frequenzbereiches $\nu, \nu + d\nu$ ungehindert durch das große und das kleine Volumen laufen kann. Zwischen den Lichtwellen dieses schmalen Frequenzbereiches, die aus dem großen Volumen in das kleine Volumen eindringen, werden sich nun langsame Schwebungen ergeben; im Tempo dieser Schwebungen atmet das Teilvolum V langsam Strahlungsenergie des Frequenzbereiches $d\nu$ ein und aus. Das Quadratmittel dieser Energieschwankungen in V ist nach EINSTEIN auf Grund des PLANCKschen Strahlungsgesetzes rein thermodynamisch zu berechnen:

$$\overline{\Delta^2} = h\nu \cdot E + \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \cdot \frac{E^2}{V};$$

dabei soll $E d\nu$ die Strahlungsenergie des Frequenzbereichs $d\nu$ in V sein. Man kann andererseits ohne Anwendung thermodynamischer Begriffe die Interferenzen der Wellen im Frequenzbereich $d\nu$ verfolgen und damit unabhängig dieses Schwankungsquadrat berechnen. Man erhält dann, wie LORENTZ gezeigt hat, das vom EINSTEINschen abweichende Ergebnis[2])

$$\overline{\Delta^2} = \frac{c^3}{8\pi\nu^2} \cdot \frac{E^2}{V}.$$

Man kann andererseits die Vorstellung des Lichtquantengases benutzen und das Schwankungsquadrat berechnen nach dem Verfahren, nach welchem in der klassischen Gastheorie Dichteschwankungen berechnet werden. Dann erhält man

$$\overline{\Delta^2} = h\nu \cdot E.$$

Die EINSTEINsche Formel des Schwankungsquadrates zeigt also sehr deutlich wieder die rätselhafte Doppelnatur der Strahlung: Das wirkliche Schwankungsquadrat ist gleich der Summe aus dem wellentheoretisch und dem corpusculartheoretisch berechneten. Bei großer Strahlungsenergie E (im Gültigkeitsbereich des RAYLEIGH-JEANSschen Gesetzes) kommt praktisch nur der „wellentheoretische" Summand in Betracht: hier gilt die klassische Optik praktisch vollständig. Bei sehr kleiner Strahlungsdichte dagegen (beim WIENschen Gesetz) bleibt praktisch nur der „corpusculare" Anteil übrig: hier enthüllt sich die Strahlung als extremes Lichtquantengas.

Der Widerspruch zwischen thermodynamischer und rein optischer (interferenzmäßiger) Rechnung würde verschwinden, wenn das RAYLEIGH-JEANSche Strahlungsgesetz statt des PLANCKschen gelten würde. Die Abweichung des wirklichen Schwankungsquadrates von dem nach LORENTZ berechneten muß also ebenso wie das PLANCKsche Gesetz selbst darin begründet sein, daß die Eigenschwingungen des Hohlraumes gequantelt sind. Diese Quantelung aus den allgemeinen Prinzipien der Quantenmechanik abzuleiten, wird einstweilen dadurch verhindert, daß die bisherigen Formulierungen der Quantenmechanik sich nur auf Systeme einzelner Massenpunkte (Elektronen, Kerne) beziehen, während uns im elektromagnetischen Hohlraum ein schwingendes Kontinuum entgegentritt.

Man trifft aber formal genau dasselbe Problem auch bei den Schwingungen eines Krystallgitters an; und da ein Krystall wieder ein System von Massenpunkten ist, so besteht kein Hindernis, die Gesetze der Quantenmechanik auf ihn anzuwenden. BORN, HEISENBERG und JORDAN[1]) haben die

[1]) E. SCHRÖDINGER (47).

[2]) Die Zuverlässigkeit der LORENTZschen Rechnung ist übrigens durch VON LAUE angefochten worden: LORENTZ hat bei Berechnung des fraglichen Quadratmittels angenommen, daß die einzelnen harmonischen Komponenten der Strahlung „statistisch unabhängig" seien. EINSTEIN und HOPF haben zwar versucht, für diese Annahme eine Begründung zu geben, doch wurde diese Begründung durch VON LAUE angezweifelt. Eine anschließende Diskussion zwischen EINSTEIN und V. LAUE hat zu keinem ganz eindeutigen Ergebnis geführt; PLANCK ist im Jahre 1924 auf den Gegenstand zurückgekommen, hat aber auch damals die Sachlage für noch nicht endgültig entschieden erklärt. Trotzdem darf man wohl jetzt überzeugt sein, daß die LORENTZsche Formel mit Notwendigkeit aus der klassischen Theorie folgt. Wenn man nämlich entsprechend dem physikalischen Sinn des Problems die in einzelne Eigenschwingungen zerlegbare Strahlung innerhalb eines endlichen Hohlraumes der Betrachtung zugrunde legt, so kann man, wie BORN, HEISENBERG und JORDAN zeigten, unter völliger Vermeidung aller statistischen Begriffe den exakten Zeitmittelwert des Schwankungsquadrates bestimmen und findet ihn in Übereinstimmung mit der LORENTZschen Formel.

[1]) M. BORN, W. HEISENBERG und P. JORDAN (3).

Schwankungen der Schwingungsenergie in einem Krystallgitter nach der Matrizentheorie berechnet, und sind zu dem Ergebnis gekommen, daß die matrizentheoretische Beschreibung dieser Schwingungen wirklich den von der Thermodynamik geforderten Wert des Schwankungsquadrates liefert. Anschaulich kann man diese Tatsache etwa folgendermaßen verstehen: Während nach der halbklassischen Theorie ein harmonischer Oscillator im n-ten Anregungszustand eine mit nh proportionale Energie besaß, ergibt die Quantenmechanik eine mit $(n + \frac{1}{2})h$ proportionale Energie, also auch für den Grundzustand ($n = 0$) eine gewisse „Nullpunktsenergie". Die Eigenschwingungen des Krystallgitters, die sich ja wie einzelne harmonische Oscillatoren verhalten, besitzen also gleichfalls Nullpunktsenergien, und die ganze Nullpunktsenergie ist gleichmäßig über den Krystall verbreitet. Sind nun einige Eigenschwingungen des Krystalles angeregt, so interferieren ihre Energien nicht nur untereinander, sondern auch mit dieser Nullpunktsenergie, wodurch die gesamte Energieschwankung vergrößert wird. Diese Vergrößerung ist unwesentlich bei großer Strahlungsdichte (hochangeregten Oscillatoren); aber sie ist das allein Wesentliche, wenn nur sehr wenige Oscillatoren angeregt sind, deren Energie durch diese Interferenzen mit der Nullpunktsenergie in starken Schwankungen hin- und hergerissen wird.

[Zusatz nach Abschluß des Manuskripts. In der exakten quantenmechanischen Erfassung der Wechselwirkung von Strahlung und Materie sind inzwischen außerordentliche Fortschritte durch eine neue, demnächst erscheinende große Arbeit von DIRAC erzielt worden. DIRAC hat zeigen können, daß eine folgerichtige quantentheoretische Behandlung des Strahlungsfeldes, bei der die einzelnen harmonischen Komponenten der Strahlung als gequantelt angenommen werden, in sehr befriedigender Weise die in der quasiklassischen Behandlung der freien Ausstrahlung auftretenden scheinbaren Schwierigkeiten aufzulösen und die Grundlagen einer quantitativen Theorie der Strahlungsdämpfung und der Linienbreite zu liefern vermag. Auch bietet das DIRACsche Verfahren, wie hier bemerkt sein mag, eine volle Rechtfertigung der von BORN, HEISENBERG und JORDAN vertretenen Überzeugung, daß die Schwierigkeiten bezüglich der Intensitätsschwankungen der Strahlung quantenmechanisch in ganz derselben Weise zu lösen seien, wie die entsprechende Schwierigkeit bei der Schwingungsenergie im Krystallgitter.]

Zum Schluß dieses Abschnittes sei noch berichtet, daß auch die von KALUZA[1]) und MANDEL[2]) begründete Vorstellung, daß unser dreidimensionaler Raum in einen vierdimensionalen eingebettet sei (und entsprechend unsere vierdimensionale Raumzeitmannigfaltigkeit in eine fünfdimensionale) von KLEIN[1]) und FOCK[2]) mit der SCHRÖDINGERschen Theorie in Verbindung gebracht worden ist. Man erhält in der Tat verschiedene formale Vorteile, wenn man sich vorstellt, daß der Raum ähnlich einer sehr engen zylindrischen Röhrenfläche ist, derart jedoch, daß diese Fläche nicht zweidimensional, sondern eben vierdimensional zu denken ist: Nach drei Richtungen ist dieser Raum unendlich oder doch jedenfalls sehr weit ausgedehnt; nach der vierten Richtung aber läuft er periodisch in sich selbst zurück. Bekanntlich ist von PAULI erkannt worden, daß dem Elektron vier Quantenzahlen, also vier Freiheitsgrade zuzuordnen sind; Es liegt deshalb nahe, mit LONDON[3]) eine Verbindung zwischen der Hypothese der neuen Dimension und der Theorie des Magnetelektrons zu suchen. Doch muß die Entscheidung über die Brauchbarkeit der neuen Dimension noch der Zukunft überlassen bleiben.

7. *Teilchenresonanz und Paulisches Prinzip.*

Bei Anwendung der Quantenmechanik auf Atome, die mehr als ein Elektron enthalten — also alle Atome vom Helium an — war vor allem die grundsätzliche Frage zu lösen, wie man eine Erklärung des von PAULI im Anschluß an die STONER-SMITHsche Deutung des periodischen Systems der Elemente aufgestellte Prinzip der Atomdynamik quantenmechanisch begründen könnte. Dieses PAULIsche Prinzip lautet: Es kann nicht vorkommen, daß in einem Atom zwei Elektronen mit lauter gleichen Quantenzahlen auftreten. Man kann daraus in bekannter Weise das periodische System der Elemente ableiten. Z. B. können nicht mehr als zwei Elektronen in einem Atom vorhanden sein, welche beide die Hauptquantenzahl $n = 1$ besitzen; denn diese haben notwendig auch dieselbe azimutale Quantenzahl k (oder l) $= 0$ und dieselbe innere Quantenzahl $j = \frac{1}{2}$; nur ihre magnetischen Quantenzahlen sind verschieden, nämlich gleich $+\frac{1}{2}$ und $-\frac{1}{2}$. Wenn, wie beim Lithium, noch ein drittes Elektron hinzukommt, so muß dieses notwendigerweise eine Hauptquantenzahl $n > 1$ besitzen.

Die quantenmechanische Aufklärung und Begründung dieses PAULIschen Prinzipes ist von HEISENBERG[4]) und DIRAC[5]) erreicht worden. Wir wollen hier mit HEISENBERG zunächst ein etwas vereinfachtes Problem betrachten. Es sei zu untersuchen ein System, welches aus zwei ganz gleichen eindimensionalen Oscillatoren besteht, welche gekoppelt sind durch eine Wechselwirkungsenergie, die symmetrisch von den beiden Oscillatoren abhängt. Man wird dieses System behandeln nach den Methoden der Störungsrechnung, indem man ausgeht von den beiden ungekoppelten Oscillatoren als ungestörten Zustand. Es seien n und m die

[1]) TH. KALUZA (48).
[2]) H. MANDEL (49).

[1]) O. KLEIN (50).
[2]) V. FOCK (51).
[3]) F. LONDON (52).
[4]) W. HEISENBERG (13).
[5]) P. A. M. DIRAC (14).

Quantenzahlen des einen und des anderen Oscillators. Der Zustand der beiden zusammen ist dann durch Angabe beider Zahlen n, m zu bezeichnen. Sind diese beiden Zahlen verschieden, so gibt es noch einen zweiten Zustand m, n, welcher die gleiche Energie besitzt; das System ist also entartet, oder, wie man auch sagen kann, es zeigt eine Resonanz. Die Anwendung der Störungsrechnung führt nun zu folgendem merkwürdigen Ergebnis: man kann die Zustände n, m des gestörten Systems in zwei Gruppen zerlegen; zur einen gehören die Zustände, bei denen $n \geqq m$ ist; zur anderen Gruppe gehören die Zustände mit $n < m$. Wenn jetzt das System in einem zur ersten Gruppe gehörigen Zustand ist und durch äußere Einwirkungen irgendwelcher Art zu Quantensprüngen angeregt wird, so springt es stets zu einem anderen Zustand in der ersten Gruppe, und geht niemals zu einem Zustand in der zweiten Gruppe über. Ganz entsprechend bleibt das System stets innerhalb der zweiten Gruppe von Zuständen, wenn es überhaupt einmal in einem dieser Zustände gewesen ist. Die zweite Gruppe der Zustände ist nun offenbar gerade im Einklang mit dem PAULIschen Prinzip, da es hier ja niemals vorkommt, daß $n = m$ ist. Man kann also das erläuterte Ergebnis folgendermaßen auf das Heliumatom anwenden: aus einem zunächst noch unbekannten Grunde sind sozusagen bei der Erschaffung der Welt alle Heliumatome in einem zu dieser zweiten Gruppe gehörigen Zustand erschaffen worden; es folgt danach aus den Gesetzen der Quantenmechanik, daß aus diesen Heliumatomen niemals solche hervorgehen können, die sich in der ersten Gruppe von Zuständen befinden. Das PAULIsche Prinzip bleibt also zu allen Zeiten richtig, nachdem es bei der Welterschaffung einmal richtig gewesen ist.

Betrachten wir nun die erste Gruppe von Termen — die im Falle des Heliumatomes nach dem eben Gesagten freilich keine physikalische Bedeutung besitzt — so ist leicht zu sehen, daß sie gerade der BOSE-EINSTEINschen Statistik entspricht. Entsprechendes zeigt sich ganz allgemein, wenn wir nicht nur zwei, sondern eine beliebige Anzahl gleichartiger Teilchen in einem System haben, also z. B. ein aus vielen gleichen Atomen bestehendes Gas. Die möglichen Quantenzustände dieses Gases zerfallen in mehrere getrennte Gruppen, zwischen denen keine Übergänge möglich sind. Eine dieser Gruppen entspricht genau der BOSE-EINSTEINschen Statistik; eine andere entspricht dem PAULIschen Prinzip.

Man kann danach der EINSTEINschen Theorie des idealen Gases eine andere Gastheorie gegenüberstellen, in welcher sich das Gas nicht analog zur Strahlung verhält, sondern dem PAULIschen Prinzip gehorcht. Man bekommt, wie von FERMI[1]) schon vor der quantenmechanischen Untersuchung der Teilchenresonanz gezeigt und unabhängig auch von DIRAC[2]) erkannt wurde, wieder sehr ähnliche Formeln, wie in der EINSTEINschen Theorie; an Stelle des Ausdruckes $\frac{1}{e^{\alpha+\frac{\varepsilon}{kT}}-1}$ tritt jedoch der Ausdruck $\frac{1}{e^{\alpha+\frac{\varepsilon}{kT}}+1}$[1]).

Daß diese FERMI-DIRACsche Gastheorie (also nicht die EINSTEINsche) jedenfalls anzuwenden ist auf die freien Elektronen im Innern eines Metalls — die wohl in erster Annäherung gewiß als ideales Gas betrachtet werden können — kann nach PAULI[2]) mit großer Sicherheit aus dem magnetischen Verhalten der Metalle geschlossen werden. Überlegen wir zunächst, was mit dem dem PAULIschen Prinzip unterworfenen Gase geschieht, wenn wir uns dem absoluten Nullpunkt der Temperatur nähern, so bemerken wir offenbar, daß den Gasatomen ihre Translationsenergie nicht vollständig entzogen werden kann; denn sonst würden sie ja beim absoluten Nullpunkt sämtlich im untersten Quantenzustand sein, während nach dem PAULIschen Prinzip jeder Zustand eines Einzelatoms nur ein einziges Mal verwirklicht werden kann. Man kann also den beim absoluten Nullpunkt eintretenden Zustand so beschreiben, daß hier eine möglichst enge Zusammendrängung der Gasatome in den tiefsten Quantenzuständen eintritt.

Die Frage, die PAULI aufgeworden hat, ist diese: Man weiß jetzt (GOUDSMIT-UHLENBECK), daß das einzelne freie Elektron nicht nur eine Ladung, sondern auch ein festes magnetisches Moment besitzt. Wie kommt es, daß trotzdem die Metalle nicht etwa sämtlich einen starken Paramagnetismus zeigen, davon herrührend, daß die Elektronen durch ein Magnetfeld paramagnetisch eingestellt waren? Die Antwort ergibt sich nach PAULI aus dem soeben Erläuterten: Da die freien Elektronen im Metall bekanntlich keinen merklichen Beitrag zur spezifischen Wärme liefern, so muß das Elektronengas bei gewöhnlichen Temperaturen schon vollkommen entartet sein (auch das FERMI-DIRACsche Gas befriedigt den NERNSTschen Wärmesatz). Das magnetische Eigenmoment der freien Elektronen hat nun offenbar zur Folge, daß beim Elektronengase in jedem Quantenzustand der Translation zwei statt ein Elektron auftreten können, wobei ihre magnetischen Momente entgegengesetzt gerichtet sein müssen. Wenn man jetzt das magnetische Moment eines solchen Elektrons umdrehen will, so ist das wegen des PAULIschen Prinzipes nur dann möglich, wenn man es gleichzeitig in einen anderen Translationszustand versetzt. Eine paramagnetische Richtungseinstellung der freien Metallelektronen würde also nur dann möglich sein, wenn gleichzeitig den Elektronen ein großer Betrag von Translationsenergie zugeführt würde.

Wir hatten vorhin gesagt, daß bei einem System mit irgendeiner Anzahl von gleichartigen Teilchen

[1]) E. FERMI (53).
[2]) P. A. M. DIRAC (14).

[1]) Auch für diese Gastheorie kann leicht die notwendige Abänderung des Massenwirkungsgesetzes durchgeführt werden. [Vgl. P. JORDAN (31).]
[2]) W. PAULI jr. (54).

erstens eine der BOSEschen Abzählung entsprechende abgeschlossene Termgruppe und zweitens eine dem PAULIschen Prinzip entsprechende Termgruppe möglich sei — während jedoch physikalisch anscheinend immer nur eine dieser Termgruppen verwirklicht ist, bei den Lichtquanten eben die eine, bei den Elektronen gerade die andere. Außer diesen zwei Termgruppen sind aber, wenn das System mehr als zwei gleichartige Teilchen enthält, noch weitere in sich geschlossene Termgruppen mathematisch möglich, die von HEISENBERG[1]) und von WIGNER[2]) mathematisch erschöpfend untersucht sind. Obwohl sie im Prinzip niemals physikalisch realisiert zu sein scheinen, spielen sie doch praktisch eine wichtige Rolle als Ausgangspunkte quantenmechanischer Störungsrechnungen. Wir werden ihnen bei der Besprechung der Anwendung der Theorie noch einige Worte zu widmen haben.

Es verdient die Frage einige Aufmerksamkeit, ob und wieweit es möglich ist, ein Analogon der Teilchenresonanz auch in der halbklassischen Quantentheorie anzugeben. In der Tat ist das bis zu einem gewissen Grade möglich. Am leichtesten zu erkennen ist das Prinzip der Sache an einem Beispiel, aus dessen Untersuchung HEISENBERG die Aufklärung eines gewissen Intensitätswechsels in manchen Bandenspektren gewonnen hat. Betrachten wir ein Hantelmolekül, welches aus zwei gleichen Atomen zusammengesetzt ist. Die Quantelung des Drehimpulses dieses Moleküls war in bekannter Weise damit begründet, daß nach einer Umdrehung des Atoms um den Winkel 2π eine Periode der Bewegung abgeschlossen ist; die zu quantelnde Wirkungsvariable ist der Drehimpuls P, multipliziert mit dieser Periodenlänge 2π; diese kann sich bei Quantensprüngen nur um ganze Vielfache von h, also P selbst nur um Vielfache von $\frac{h}{2\pi}$ ändern. In Rücksicht auf die Gleichheit der beiden Atome des Moleküls kann man aber auch sagen, daß schon nach einer Umdrehung um π eine Periode der Bewegung abgeschlossen ist. Diese Auffassung wird uns nicht befremdlich sein, da wir ja schon bei der DUANEschen quantentheoretischen Erklärung der Interferenz von Lichtquanten an Krystallgittern einer ähnlichen Überlegung begegneten. Man gelangt also zu der verschärften Forderung daß — wenn zunächst von der Mitwirkung der Elektronen des Moleküls beim Quantensprung ganz abgesehen wird — der Drehimpuls P sich nur um ganze Vielfache des doppelten Wertes $2 \cdot \frac{h}{2\pi}$ ändern kann. Die Verfolgung dieser Überlegungen macht nach SLATER eine korrespondenzmäßige Erklärung des Intensitätswechsels ohne ausdrückliche Heranziehung der Quantenmechanik möglich. Ähnliche Überlegungen könnten angewendet werden auf ein quasiklassisches Modell des Heliumatoms, bei welchem die Bewegung der Elektronen nicht nur periodisch ist, sondern auch schon vor Abschluß einer Bewegungsperiode der frühere Zustand wieder hergestellt wird mit dem einzigen Unterschied, daß eine Vertauschung der beiden Elektronen eingetreten ist. Auch hier würde in gewissem Sinne eine Halbierung der Bewegungsperioden eintreten, die ein Zerfallen des Termsystems in zwei nichtkombinierende Gruppen nach sich zöge.

[1]) W. HEISENBERG (13).
[2]) E. WIGNER (55).

8. *Die verallgemeinerte Theorie.*

Wir wenden uns endlich zur Besprechung der weiteren Entwicklung, welche die HEISENBERGschen Ideen nach ihrer grundsätzlichen Seite hin erfahren haben. Zunächst mag von einigen spezielleren Untersuchungen berichtet werden, die neben den schon besprochenen weitere Gesichtspunkte für diese Fortentwicklung geliefert haben. Die Annahme der Quantensprünge hat in zwei Arbeiten von HEISENBERG[1]) und JORDAN[2]) eine genauere quantenmechanische Analyse gefunden. Nach den elementaren Vorstellungen der Quantentheorie kann die Wechselwirkung der Atome bei Zusammenstößen, durch Strahlung usw. mit der Annahme unstetiger Quantensprünge beschrieben werden. Im scheinbaren Gegensatz dazu muß aber die exakte quantenmechanische Beschreibung diese Wechselwirkungen als mit einem kontinuierlichen Energieaustausch in Form langsamer Schwebungen verknüpft betrachten. Dieser scheinbare Widerspruch löst sich, wenn man genauer überlegt, durch welche experimentellen Messungen man die Behauptungen einerseits der unstetigen Beschreibungsweise und andererseits der stetigen Beschreibung prüfen kann: Es zeigt sich, daß in allen empirisch faßbaren Ergebnissen völlige Übereinstimmung zwischen den beiden Beschreibungsweisen herrscht. Man kann sagen, daß bei genauerer Betrachtung die exakte quantenmechanische Beschreibung dieser Wechselwirkung — obwohl sie dieselben äußerlich in der Form langsamer Schwebungen wiedergibt — die quantenmechanischen Unstetigkeiten in dieser Wechselwirkung unmittelbar erkennen läßt. Freilich erhält man, wenn man z. B. den unstetigen Energieaustausch zwischen zwei in Resonanz befindlichen Atomen betrachtet, keinen Aufschluß über die Zeitpunkte, in welchen jeweils ein Quantensprung geschieht. Man kann lediglich feststellen, wie lange das von den zwei Atomen ausgetauschte Energiequant im statistischen Mittel sich beim einen oder beim anderen Atom aufhält. Dieses Verhalten liefert ein sehr anschauliches Beispiel für die auch in rein logischer Beziehung sehr merkwürdige Weise, in der die Quantenmechanik, obwohl sie ein in sich vollständiges und geschlossenes System mathematischer Formulierungen von physikalischen Gesetzen gibt, dennoch eine durchaus unvollständige Determinierung des wirklichen physikalischen Geschehens gibt. Alle physikalischen Ge-

[1]) W. HEISENBERG (9).
[2]) P. JORDAN (10).

setze im Gebiete der Atome und der Quanten sind, soweit unsere heutige Kenntnis reicht, nicht kausale, sondern statistische Gesetze; alle von der Quantenmechnik zu berechnenden Größen bestimmen nicht das Einzelschicksal eines bestimmten Atoms, sondern geben nur Wahrscheinlichkeiten für das Verhalten von Atomen unter bestimmten Bedingungen an.

Dieser statistische Charakter der quantenmechanischen Gesetze tritt in mancher Hinsicht noch eindrucksvoller und anschaulicher zutage bei der theoretischen Untersuchung quantenmechanischer Stoßprozesse, wie sie von BORN[1]) in ganz allgemeiner und systematischer Form mit Anwendung der SCHRÖDINGERschen Methoden durchgeführt worden ist. Im Sinne von DE BROGLIE und EINSTEIN kann man einen Elektronenstrahl, der in einer Versuchsanordnung der FRANCK-HERTZschen Art Atome trifft, anschen als einen undulatorischen Strahl, der von den getroffenen Atomen in ähnlicher Weise zerstreut wird, wie etwa ein Lichtstrahl durch die Teilchen einer kolloidalen Lösung. Diese Vorstellung ist schon lange vor der SCHRÖDINGERtheorie und vor der Quantenmechanik von ELSASSER[2]) benutzt worden, um eine qualitative Deutung des sog. RAMSAUEReffektes zu geben. Man muß gemäß dem wellentheoretischen Bilde erwarten, daß hierbei neben dem unabgelenkt durchgehenden Strahl die abgelenkten Strahlen mehrere Beugungsmaxima bilden. Quantitativ sind alle diese Verhältnisse, wie BORN gezeigt hat, mit Hilfe der SCHRÖDINGERschen Methode erschöpfend zu behandeln, auch einschließlich der Anregung der Atome durch Elektronenstöße, der Stöße zweiter Art usw. Fragen wir nun, was geschieht, wenn nicht ein Strahl von Elektronen, sondern nur gerade ein einziges Elektron zwischen den Atomen hindurchgejagt wird, so ist die natürlichste Antwort offenbar diese: Man kann von vornherein gar nicht mit Bestimmtheit sagen, was mit dem Elektron geschehen wird; es gibt lediglich gewisse Wahrscheinlichkeiten dafür, daß es entweder unabgelenkt weiterfliegt oder etwa in Richtung eines der Beugungsmaxima abgelenkt wird, und diese Wahrscheinlichkeiten werden proportional sein den undulatorischen Intensitäten bei den verschiedenen Maximis. Dies entspricht genau der Vorstellung, die man ja auch bezüglich der Lichtquanten hegen muß: Auch diese bewegen sich nach Wahrscheinlichkeiten, deren Maß jeweils durch die wellentheoretisch berechneten Lichtintensitäten gegeben ist.

In Verfolg seiner Vorstellungen hat BORN auch die physikalische Bedeutung der SCHRÖDINGERschen Wellenfunktion schärfer bestimmen können. Er hat gezeigt, daß man mit ihrer Hilfe ein Maß der Wahrscheinlichkeit dafür angeben kann, daß ein Atom zu einem gewissen Zeitpunkt sich gerade im n-ten Quantenzustande befindet. Diese Deutung der SCHRÖDINGERfunktion konnte gestützt werden durch den Nachweis[1]), daß das bekannte EHRENFESTsche Adiabatenprinzip der Quantentheorie im Anschluß an diese Deutung auch vom Standpunkte der neuen Quantenmechanik formuliert und bewiesen werden konnte.

BORN ist mit diesen Aufstellungen in einem wesentlichen Punkte über den ursprünglichen HEISENBERGschen Gedankenkreis hinausgegangen: Während bei HEISENBERG als statistische Begriffe nur die Übergangswahrscheinlichkeiten erschienen, hat BORN als primären Begriff die Zustandswahrscheinlichkeiten eingeführt, aus denen sich die Übergangswahrscheinlichkeiten erst sekundär ergeben (durch Bestimmung der zeitlichen Änderungen der Zustandswahrscheinlichkeiten).

Neben diesen physikalischen Gesichtspunkten haben auch einige mehr formale Tatsachen Veranlassung zu einer nochmaligen Untersuchung der Grundlagen der quantenmechanischen Gesetze gegeben. Wir haben oben gesehen, daß drei verschiedene und selbständige Formulierungen der Quantenmechanik gegeben werden konnten: Die Matrizentheorie, die q-Zahltheorie und der SCHRÖDINGERsche Formalismus. Zu ihnen tritt noch eine vierte Formulierung, die von BORN und WIENER[3]) entwickelt worden ist, und die neben verschiedenen Ähnlichkeiten einerseits mit der q-Zahltheorie und andererseits mit der SCHRÖDINGERschen Theorie gleichzeitig charakteristische Besonderheiten besitzt. Das Verhältnis dieser vier Theorien zueinander war insoweit geklärt worden, als nachgewiesen worden war, daß jede der drei späteren Formulierungen bei der Anwendung auf periodische Systeme dasselbe ergeben mußte, wie die ursprüngliche Matrizentheorie; doch waren die Beziehungen der drei späteren Formulierungen untereinander noch recht wenig befriedigend klargelegt. Ferner spielten in der SCHRÖDINGERschen Theorie die Ortskoordinaten eine ausgezeichnete Rolle, welche in einem sehr unbefriedigenden Gegensatze stand zu der großen analytischen Allgemeinheit, die in der Theorie der q-Zahlen erreicht war: bei den q-Zahlen hatte man ja die Möglichkeit, statt mit Punktkoordinaten auch mit beliebigen anderen, durch irgendwelche „Berührungstransformationen" eingeführten kanonischen Koordinaten zu rechnen. Eine formale Ausgestaltung der Theorie, in der die eben erwähnten Unvollkommenheiten ihre Lösung fanden, ist Hand in Hand entwickelt worden mit einer Verallgemeinerung und Vertiefung der physikalischen Grundlagen der Theorie, die im Anschluß an die oben besprochenen Untersuchungen über die statistischen Deutung quantenmechanischer Rechnungen durchgeführt worden ist. Diese Theorie findet sich in den zwei schon eingangs erwähnten Arbeiten von DIRAC[3]) und JORDAN[4]); die formalen Zusammenhänge der SCHRÖDINGERschen Theorie mit der

[1]) M. BORN (8).
[2]) W. ELSASSER (40).
[1]) M. BORN (56).
[2]) M. BORN und N. WIENER (41).
[3]) P. A. M. DIRAC (11).
[4]) P. JORDAN (12).

Theorie der kanonischen Transformationen sind zum Teil schon vorher von F. LONDON[1]) aufgedeckt worden.

Wir wollen uns bei der Erläuterung dieser Gedankengänge wiederum auf ein System von einem einzigen Freiheitsgrade beziehen. Nehmen wir dieses beispielweise zunächst als einen kräftefrei bewegten Massenpunkt an, so ist dieser Massenpunkt, falls wir ihm eine scharf definierte Energie, oder, was auf dasselbe hinauskommt, einen scharf definierten Wert des translatorischen Impulses zuschreiben, nach DE BROGLIE darzustellen durch eine rein periodische ebene Welle. Diese Welle hat also überall gleiche Intensitäten in dem ganzen eindimensionalen Raume, in dem sich der Massenpunkt bewegt. Dies legt folgende Vorstellung nahe: Wenn der quantenmechanische Massenpunkt einen scharf definierten Wert des Impulses besitzt, so besteht gleichzeitig eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafür, daß sein Ort irgendwo in dem ihm zur Verfügung stehenden Raume ist, und alle möglichen Orte sind durchaus gleichwahrscheinlich. Denken wir allgemeiner, daß bei einem System von einem Freiheitsgrad irgendeine mechanische Größe, nennen wir sie β, einen scharf definierten Wert β_0 besitzt. Damit wird für eine andere mechanische Größe, sagen wir q, im allgemeinen eine Wahrscheinlichkeit dafür bestehen, daß q einen Wert in dem Intervalle $q_0, q_0 + dq$ besitzt. Als Beispiel solcher Wahrscheinlichkeitsfunktion können nach PAULI die SCHRÖDINGERschen Funktionen herangezogen werden: Die Größe $|\varphi_n(q_0)|^2 dq$ ist nach PAULI[2]) anzusehen als die Wahrscheinlichkeit, daß die Koordinate q einen Wert im Intervalle $q_0, q_0 + dq$ besitzt, wenn das Atom gerade im n-ten Quantenzustand ist. Allgemein wird man die Wahrscheinlichkeit, daß q im Intervalle $q_0, q_0 + dq$ liegt, während eine andere mechanische Größe β den Wert β_0 besitzt, darstellen können in der Form

$$|\varphi(\beta_0, q_0)|^2 dq .$$

(In Wirklichkeit ist die Sache noch etwas komplizierter; doch ist diese Komplikation nicht sehr wesentlich). Wir wollen uns nun denken, die Wahrscheinlichkeit, daß eine weitere Größe Q einen Wert im Intervalle $Q_0, Q_0 + dQ$ besitzt, wenn q den Wert q_0 hat, sei $|\psi(q_0, Q_0)|^2 dQ$; dann würde man, wenn für diese quantenmechanischen Wahrscheinlichkeiten die gewöhnliche Wahrscheinlichkeitsrechnung gültig wäre, offenbar folgendes behaupten können: Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß Q im Intervalle $Q_0, Q_0 + dQ$ liegt, wenn die Größe β einen Wert β_0 besitzt, ist gegeben durch

$$dQ \cdot \int |\varphi(\beta_0, q)|^2 \cdot |\psi(q, Q_0)|^2 dq .$$

Aber die quantenmechanischen Wahrscheinlichkeiten kombinieren nicht in dieser, der elementaren Wahrscheinlichkeitsrechnung entsprechenden Weise. Wir wissen ja aus der Optik, daß Licht plus Licht nicht immer verstärktes Licht ergeben muß — sondern daß es eben Interferenzen gibt; und für die Lichtquantentheorie bedeutet das, daß die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Lichtquanten sich nicht einfach addieren, sondern daß die „Amplituden der Wahrscheinlichkeiten" sich addieren. Eine solche Wahrscheinlichkeiteninterferenz besteht nun, wie von PAULI vermutet wurde, ganz allgemein bei den quantenmechanischen Wahrscheinlichkeiten. Mathematisch drückt sie sich folgendermaßen aus: Die Wahrscheinlichkeit, daß Q einen Wert im Intervalle $Q_0, Q_0 + dQ$ besitzt, ist nicht durch die obige Formel gegeben (die bei gewöhnlichen nichtinterferierenden Wahrscheinlichkeiten gelten müßte), sondern durch $dQ \cdot |\Phi(\beta_0, Q_0)|^2$, und dabei gilt:

$$\Phi(\beta_0, Q_0) = \int \varphi(\beta_0, q)\, \psi(q, Q_0) dq .$$

Es kombinieren also allgemein nicht die Wahrscheinlichkeiten selber, sondern vielmehr ihre Amplituden in der uns aus der elementaren Wahrscheinlichkeitsrechnung gewohnten Weise.

Es ergibt sich nun die Aufgabe, die Wahrscheinlichkeitsamplitude $\varphi(\beta_0, q_0)$ für zwei beliebige mechanische Größen β, q allgemein zu bestimmen. Eben diese Aufgabe ist in den beiden erwähnten Untersuchungen gelöst worden. Man kann allgemein zeigen, daß diese Wahrscheinlichkeitsamplituden gewissen linearen Differentialgleichungen genügen, die sich leicht formulieren lassen. Als einen ganz speziellen Fall dieser Differentialgleichungen erhält man z. B. auch die SCHRÖDINGERsche Differentialgleichung, und man sieht, daß die statistischen Deutungen der SCHRÖDINGERschen Funktion, welche von BORN und von PAULI gegeben waren (es sei betont, daß die BORNsche und die PAULIsche Hypothese zwar verwandt, aber doch zunächst voneinander unabhängig sind) wirklich als Spezialfälle in dieser allgemeineren Theorie enthalten sind. Man kann die Wahrscheinlichkeitsamplituden selber als Matrizen allgemeinerer Art ansehen — die obige Formel für die interferenzmäßige Kombination der Wahrscheinlichkeiten ist ja mathematisch genau dasselbe, wie die Formel der Matrizenmultiplikation, angewandt für Matrizen mit kontinuierlich vielen Zeilen und Spalten. Es ergibt sich dabei die Möglichkeit, die quantenmechanischen Größen auf unendlich viele verschiedene Weisen durch Matrizen darzustellen; alle diese verschiedenen Matrizendarstellungen hängen miteinander zusammen durch Beziehungen vom Typus der früher besprochenen kanonischen Transformationen: man geht von einer Matrizendarstellung zu einer anderen über, indem man alle Matrizen vorn mit einer gewissen festen Matrix T und hinten mit ihrer reziproken T^{-1} multipliziert. Man kann wiederum diese Matrizen als erzeugende Funktion von linearen Operatoren in dem früher besprochenen Sinne ansehen, und erhält so unendlich viele Möglichkeiten, die quantenmechanischen Größen durch Operatoren darzustellen. Es sei bemerkt, daß die weiter oben angegebenen Formeln für die Ableitung der HEISENBERGschen Matrixelemente

[1]) F. LONDON (57).
[2]) W. PAULI jr. (54).

aus den SCHRÖDINGERschen Eigenfunktionen (und auch gewisse eng verwandte, allgemeinere Formeln, die von LANCZOS[1]) schon vor den SCHRÖDINGERschen Untersuchungen angegeben waren) gleichfalls als Spezialfälle in dem allgemeineren Schema des Überganges von einer Matrizendarstellung zu einer anderen durch kanonische Transformationen enthalten sind.

Man kann die statistische Auffassung der Quantenmechnik geradezu benutzen, um alle Gesetze der Quantenmechanik aus einigen einfachen statistischen Axiomen herzuleiten. Diese Axiome sind im wesentlichen nichts weiter, als die Annahme der Wahrscheinlichkeitsinterferenz und die weitere Forderung, daß es zu jeder quantenmechanischen Größe q eine andere Größe p geben soll derart, daß die Amplitude $\varphi(p_0, q_0)$ der Wahrscheinlichkeit für einen gewissen Wert p_0 von p bei vorgegebenem Wert q_0 von q gegeben ist durch

$$\varphi(p_0, q_0) = e^{-\frac{2\pi i}{h} p_0 q_0}.$$

Diese Größe p bezeichnet man dann als kanonisch konjugierten Impuls zu q.

Mit diesem Axiomen kann man insbesondere, was besonders erfreulich erscheint, ganz darauf verzichten, die geheimnisvolle nichtkommutative Multiplikation der quantenmechanischen Größen in die Grundlagen der Theorie mit aufzunehmen. Wenn wir die speziellen Zahlenwerte, die von irgend welchen mechanischen Größen angenommen werden, miteinander multiplizieren, so ist diese Multiplikation selbstverständlich kommutativ. Man kann aber auf Grund der erläuterten statistischen Axiome dazu gelangen, symbolische Verknüpfungen quantenmechanischer Größen zu definieren, welche eben mit der symbolischen nichtkommutativen Multiplikation und dazugehörigen Addition identisch sind; beide sind also durchaus nicht zu verwechseln mit der gewöhnlichen, selbstverständlich kommutativen Multiplikation der Zahlenwerte der quantenmechanischen Größen und der zugehörigen gewöhnlichen Addition. Vielmehr besteht zwischen diesen verschiedenen Verknüpfungsarten der quantenmechanischen Größen im allgemeinen lediglich ein statistischer Zusammenhang. Auch die kanonische Vertauschungsregel $pq - qp = \frac{h}{2\pi i}$ gehört jetzt nicht mehr zu den Voraussetzungen der Theorie, sondern wird aus den erläuterten statistischen Axiomen abgeleitet. Ihrer eigentlichen Bedeutung nach besagt sie im wesentlichen: bei einem vorgegebenen Zahlwert irgendeiner mechanischen Größe q sind für den zugehörigen kanonisch konjugierten Impuls p alle möglichen Werte gleichwahrscheinlich. Endlich erfährt auch die SCHRÖDINGERsche Aufklärung des Problems der Quantelung eine weitere Vertiefung: man erkennt aus den zugrundegelegten Axiomen, daß für das Vorkommen eines ungequantelten Zustands die Wahrscheinlichkeit Null besteht.

[1]) K. LANCZOS (58).

Es ist die Ansicht geäußert worden, daß die Überzeugung, man werde die inneratomare Mechanik nicht mit dem klassischen Raumzeitbegriff verstehen können, einer vollständigen Waffenstreckung vor dem Problem gleichbedeutend sei. Aber es scheint doch kaum angemessen, die Lage in dieser pessimistischen Weise zu beurteilen. Es ist bekannt, wieviel Mühe und Nachdenken darauf verwandt worden ist, für die MAXWELLschen Gleichungen eine mechanische Erklärung zu ersinnen. Den damaligen Physikern schien die Zurückführung der physikalischen Gesetze auf mechanische Modelle ein unbedingtes Erfordernis für ihr Verständnis zu sein; aber trotz der Warnungen mancher hervorragender Physiker der damaligen Zeit ist man allmählich dazu übergegangen, gar nicht mehr zu bedauern, daß alle diese Versuche erfolglos blieben. Man hat sich daran gewöhnt, zufrieden zu sein mit der vollständigen mathematischen Erfassung, welche die empirisch prüfbaren Gesetze des elektromagnetischen Feldes durch die MAXWELLschen Gleichungen erfahren hatten. Ähnlich liegen die Dinge wohl auch heute. Nur handelt es sich jetzt nicht mehr darum, mechanische Modelle als eine zu stark spezialisierte Darstellungsform physikalischer Gesetze zu erkennen, sondern die ganze klassische Auffassung von Raum, Zeit und Kausalität — als zu eng gefaßt für die Aufnahme der quantenmechanischen Gesetze — zu verwerfen bzw. zu verallgemeinern. Alle Deutungen physikalischer Gesetze durch „anschauliche" Bilder geben nichts anderes, als Erläuterungen dieser Gesetze durch Analogien aus dem Bereiche der sichtbaren, greifbaren Dinge. Aber die Gesetze der Mikrophysik sind von so besonderer und eigentümlicher Art, daß es nicht möglich ist, für sie vollständige Analogien in der Makrophysik wiederzufinden. Man muß zufrieden sein, wenn wenigstens die Gesetze der logischen und mathematischen Vernunft allgemein genug sind, um die Gesetze der Quantenphysik zu erfassen und gedanklich nachzubilden. Wenn diese gedankliche Erfassung der physikalischen Elementargesetze mit dem Fortschritt der Entwicklung immer höhere Ansprüche an das Abstraktionsvermögen des Physikers stellen und immer weiter sich entfernen muß von greifbarer Anschaulichkeit, so werden wir entschädigt durch die Fülle von Erkenntnissen, die wir dabei als neuen und endgültigen Besitz gewonnen haben. Der in der Fortsetzung zu gebende Bericht über die Anwendungen der Theorie wird zeigen, wieviele und wichtige Probleme man durch die neuen Methoden quantitativ zu beherrschen vermag.

Literatur:

3. M. BORN und P. JORDAN, Zeitschr. f. Phys. **34**, 858. 1925; M. BORN, W. HEISENBERG und P. JORDAN, Zeitschr. f. Phys. **35**, 557, 1925.
5. E. SCHRÖDINGER, Ann. d. Phys. **79**, 734. 1926.
6. W. PAULI jr., brieflich publiziert.
7. C. ECKART, Phys. Rev. **28**, 711. 1926.
8. M. Born, Zeitschr. f. Phys. **38**, 803, 1926.

9. W. Heisenberg, Zeitschr. f. Phys. **40**, 501, 1926.
10. P. Jordan, Zeitschr. f. Phys. **40**, 661. 1926.
11. P. A. M. Dirac, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **113**, 621. 1927.
12. P. Jordan, Zeitschr. f. Phas. **40**, 809. 1927; **41** 797. 1927; Göttinger Nachrichten, Mathem.-Phys. Klasse 1926, S. 161.
13. W. Heisenberg, Zeitschr. f. Phys. **38**, 411. 1926; **41**, 239, 1927.
14. P. A. M. Dirac, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **112**, 661, 1926.
23. P. A. M. Dirac, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **110**, 561, 1920.
25. P. A. M. Dirac, Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A. **111**, 405. 1926.
26a. L. de Broglie, Ann. de Physique **3**, 22. 1925; Thèses. Paris 1924.
27. E. Schrödinger, Naturwissenschaft **14**, 664. 1926.
28. S. N. Bose, Zeitschr. f. Phys. **27**, 384. 1924.
29. A. Einstein, Sitzungsber. d. Berlin, Akad. 1924, S. 261. 1925; S. 3, S. 18.
30. O. Stern, Zeitschr. f. Elektrochem. **31**, 448. 1925; Zeitschr. f. phys. Chem. **120**, 60. 1926.
31. P. Jordan, Zeitschr. f. Phys. **41**, 711. 1927.
32. P. Langevin, Vortrag in der Hamburger Gauvereinssitzung. 6. Februar 1927.
33. P. Jordan, Zeitschr. f. Phys. **33**, 649. 1925.
34. E. Schrödinger, Phys. Zeitschr. **27**, 95. 1926.
35. W. Duane, Proc. of the nat. acad. of sciences (U. S. A.) **9**, 158. 1923.
36. H. A. Compton, Proc. of the nat. acad. of sciences (U. S. A.) **9**, 359. 1923.
37. P. Epstein und P. Ehrenfest, Proc. of the nat. acad. of sciences (U. S. A.) **10**, 133. 1924.
38. P. Jordan, Zeitschr. f. Phys. **37**, 376. 1926.
39. Germer und Davisson, Nature.
40. W. Elsasser, Naturwissenschaft **13**, 711. 1925.
41. M. Born und N. Wiener, Zeitschr. f. Phys. **36**,
42. W. Pauli jr., Zeitschr. f. Phys. **26**, 336. 174. 1926.
43. E. Schrödinger, Ann. d. Phys. **80**, 437. 1926.
44. E. Schrödinger, Ann. d. Phys. **81**, 109. 1926.
45. P. A. M. Dirac, Proc. of the Cambridge philos. soc. **23** (5), 500. 1927.
46. W. Gordon, Zeitschr. f. Phys. **40**, 117. 1926.
47. E. Schrödinger, Ann. d. Phys. **82**, 257. 265. 1927.
48. T. Kaluza, Sitzungsber. d. Berlin. Akad. 1921, S. 966.
49. H. Mandel, Zeitschr. f. Phys. **39**, 136. 1926.
50. O. Klein, Zeitschr. f. Phys. **37**, 895. 1926.
51. V. Fock, Zeitschr. f. Phys. **39**, 226. 1926.
52. F. London, Naturwissenschaft.
53. E. Fermi, Zeitschr. f. Phys. **36**, 902. 1926.
54. W. Pauli jr., Zeitschr. f. Phys. **41**, 81. 1926.
55. E. Wigner, Zeitschr. f. Phys. **40**, 492. 1926; **40**, 883. 1926.
56. M. Born, Zeitschr. f. Phys. **40**, 167. 1926.
57. F. London, Zeitschr. f. Phys. **40**, 193. 1926.
58. K. Lanczos, Zeitschr. f. Phys. **35**, 812. 1926.

Tätigkeitsbericht
der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften
für das Halbjahr vom 1. Oktober 1926 bis Ende März 1927.

Da von nun an die Hauptversammlung der Mitglieder nicht wie bisher im Winter, sondern in der Regel im Frühjahr stattfinden soll, wird auch das Berichtsjahr ebenso wie das Rechnungsjahr vom 1. April bis Ende März laufen. Der vorliegende Bericht enthält daher nur Angaben über das Halbjahr vom 1. Oktober 1926 bis Ende März 1927. Der nächste vollständige Jahresbericht wird erst im Frühjahr 1928 für das Berichtsjahr vom 1. April 1927 bis Ende März 1928 erstattet werden.

Dank der tatkräftigen Hilfe der Behörden und privater Gönner konnte der Bau des Kaiser Wilhelm-Instituts für *Anthropologie, menschliche Erblichkeitslehre und Eugenik* in Berlin-Dahlem so weit gefördert werden, daß mit der Einweihung des neuen Instituts im September d. J. gelegentlich des in Berlin tagenden Internationalen Vererbungskongresses mit Sicherheit gerechnet werden kann. Der zukünftige Direktor des Instituts, Prof. Dr. Eugen Fischer, Freiburg, hat den ihm angebotenen Lehrstuhl für Anthropologie an der Universität Berlin angenommen.

Der Plan der Errichtung eines Instituts zur Aufnahme ausländischer Gäste (Harnack-Haus) in Berlin-Dahlem hat im Laufe des vergangenen Halbjahres greifbare Formen angenommen. Dank der Unterstützung des Reiches und Preußens, sowie der Großzügigkeit einer Anzahl der Mitglieder der Gesellschaft wird es möglich sein, mit dem Bau noch im Laufe des Sommers zu beginnen.

Aus den einzelnen Instituten der Gesellschaft ist folgendes zu berichten:

In der Abteilung des Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Correns, des Kaiser Wilhelm-Instituts für Biologie, sind die experimentellen Untersuchungen über Vererbungs- und Geschlechtsbestimmungen bei Pflanzen weitergeführt worden. Prof. Dr. Goldschmidt hat nach seiner Rückkehr aus Ostasien in seiner Abteilung die Arbeiten mit dem mitgebrachten Material wieder aufgenommen. Die Untersuchungen über Intersexualität stehen vor dem Abschluß. Weitergeführt wurden hauptsächlich die Arbeiten über geographische Variationen und Grenzgebiete der Vererbungslehre und Entwicklungsmechanik. In der Abteilung des Prof. Dr. Hartmann wurden Versuche über relative Sexualität an Braunalgen weitergeführt und auf andere Objekte ausgedehnt. Die Abteilung von Dr. Mangold setzte ihre Experimente zur Klärung des Determinationsproblems fort. In der Abteilung des Prof. Dr. Meyerhof wurde ein großer Teil der Arbeit auf die genauere Analyse der enzymatischen Milchsäurebildung im Muskelextrakt verwandt. Der Abteilungsleiter Prof. Dr. Warburg hat den alle 2 Jahre zur Verteilung gelangenden Preis von 1000 Dollar, gestiftet von Frau Dr. Sophie A. Nordhoff-Jung in Washington, für hervorragende Leistungen auf dem Gebiete der Carcinomforschung erhalten. Die Erben der Frau Geheimrat Dannenbaum stifteten 2000 RM für die Arbeiten auf dem Gebiete der Krebsforschung. Prof. Dr. Warburg wurde von der Dänischen Gesellschaft der Wissenschaften zum Mitgliede und vom Präsidium der Gesellschaft der Ärzte in Wien zum korrespondierenden Mitglied gewählt.

Prof. Dr. Neuberg förderte im Kaiser Wilhelm-Institut für *Biochemie* insbesondere die Untersuchungen über die Biochemie des Tabaks.

Im Kaiser Wilhelm-Institut für *Arbeitsphysiologie*

wurde durch Prof. Dr. ATZLER und seine Mitarbeiter eine Reihe langwieriger Untersuchungen über neue Arbeitselemente zu einem befriedigenden Abschluß gebracht; neue physiologische Eignungsprüfungsmethoden sind ausgearbeitet worden und auf dem schwierigen Gebiete der Ermüdungsforschung konnten einige Fortschritte erzielt werden. Besonders erfreulich ist es, daß die praktische Bedeutung dieser Laboratoriumstätigkeit von der Öffentlichkeit in immer zunehmendem Maße erkannt wird. Im Einvernehmen mit dem Internationalen Arbeitsamt in Genf wurden Versuche durchgeführt, wie z. B. solche über das Beladen von Schiffen. Die Arbeiten des Institutes haben einen Umfang angenommen, welcher die Raumfrage immer dringender macht.

Geh. Med. Rat Prof. Dr. EMIL ABDERHALDEN, Halle, hat mit ihm von der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Verfügung gestellten Mitteln die Forschungen über die Konstitutionen des Eiweißes fortgesetzt. Es wurde die ultraviolette Absorption als vergleichende Methode zur Unterscheidung verschiedener isomerer Strukturformen von Aminosäuren, Polypeptiden und 2,5-Dioxopiperacine verwendet. Ferner wurden Kupfersalze von Aminosäuren und von Polypeptiden hergestellt und in ihren Eigenschaften studiert. Vor allen Dingen war es die Verfolgung des Drehungsvermögens der erwähnten Kupferbindungen, die eine Grundlage für das Studium des stufenweisen Abbaues von Eiweißstoffen ergeben sollte. Ferner sind Versuche an Modellen durchgeführt worden, wobei desmotrope Formen von 2,5-Dioxo-piperacine und Polypeptiden angestrebt wurden. Endlich sind optisch-aktive Polypeptiden mit möglichst verschiedenen Bausteinen hergestellt worden.

Im Kaiser Wilhelm-Institut für *Hirnforschung* wurde Dr. ROSE zum Wissenschaftlichen Mitgliede ernannt.

Die Deutsche Forschungsanstalt für *Psychiatrie* (Kaiser Wilhelm-Institut) in München konnte im Dezember 1926 mit ihrem Erweiterungsbau beginnen, nachdem die ROCKEFELLER-Foundation außer dem schon zugesagten Betrag von 250 000 Dollar weitere 75 000 Dollar gestiftet hatte und damit die Bausumme gesichert war. Wenn keine besonderen Schwierigkeiten entstehen, kann damit gerechnet werden, daß der Neubau im Frühjahr 1928 bezogen werden kann. Erfreulicherweise beabsichtigt die Stadt München ihren Plan, ein eigenes Gebäude für eine psychiatrische Abteilung des Städtischen Krankenhauses Schwabing in enger räumlicher Verbindung mit der Forschungsanstalt zu errichten, alsbald zur Ausführung zu bringen. Hierdurch wird die Forschungsanstalt in den Stand gesetzt werden, bald nach ihrer Eröffnung das für ihre Forschungszwecke nötige Krankenmaterial zu erhalten. Folgende weitere Stiftungen gingen für den Neubau ein: Von Herrn Alfred Heinsheimer in New York 25 000 Dollar, von Herrn Paul Warburg in New York 150 Dollar, von einem ungenannten Spender 1500 RM und von Frau Dr. Loeb in München 1000 RM. Da während des Neubaues an die Führung der Geschäfte der Anstalt gesteigerte Anforderungen gestellt werden, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, zwei Abteilungsleiter bis auf weiteres als Vorstände der Forschungsanstalt zu bestellen. Prof. SPIELMEYER und Prof. PLAUT werden sich in die Leitung teilen. Das bisher von Prof. KRAEPELIN geleitete klinische Archiv wurde von Prof. LANGE unter Ernennung zum Abteilungsleiter übernommen. Prof. JAHNEL wurde zum Abteilungsleiter ernannt. Er wird in dem neuen Hause einer Abteilung für Spirochätenforschung vorstehen. Mit der vorläufigen Verwaltung der Psychologischen Abteilung wurde nach dem Tode KRAEPELINS sein langjähriger Mitarbeiter Privatdozent Dr. GRAF betraut. Die Leitung der Genealogisch-demographischen Abteilung hat Prof. RÜDIN auch in der Zwischenzeit, trotz seiner Übersiedlung nach Basel, beibehalten und durch regelmäßige Besuche in München persönlich die Arbeiten überwacht. An Stelle von Dr. ERNST, der die Kretinenforschung bei der Genealogischen Abteilung bisher betrieben hatte, trat Dr. LANG.

Im Kaiser Wilhelm-Institut für *Chemie* ist die durch den Weggang des Direktors und Leiters der anorganisch-chemischen Abteilung, Prof. Dr. A. STOCK nach Karlsruhe freigewordene Abteilung zur Zeit noch unbesetzt. Bis zu einer endgültigen Regelung wurde der 2. Direktor des Instituts, Prof. Dr. O. HAHN, mit der vorläufigen Leitung des Instituts betraut. Prof. Dr. STOCK bleibt dem Institut als Auswärtiges Wissenschaftliches Mitglied erhalten. Fräulein Prof. Dr. MEITNER hielt auf Einladung holländischer Hochschulen im März d. J. mehrere Vorträge aus ihrem Arbeitsgebiet. Die Tätigkeit des Instituts erstreckt sich zur Zeit auf die radioaktive Abteilung (HAHN-MEITNER) und die organisch-chemische Abteilung (HESS). In der Abteilung HAHN-MEITNER sind die Arbeiten über die α, β und γ-Strahlen in verschiedenen Richtungen fortgesetzt worden. So wurde, um genauere Reichweitemessungen nach der Wilsonschen Nebelmethode zu ermöglichen, eine besondere Apparatur konstruiert, die es gestattet, die Nebelbahnen bei sehr kleinen Drucken in der Wilson-Kammer zu untersuchen. Ferner wurden Versuche abgeschlossen, die Zahl der von Radioelementen pro zerfallendem Atom ausgesandten β-Strahlen zu bestimmen, deren Resultate Einblick in prinzipielle Fragen des Zerfallsmechanismus ermöglichen. Zugleich konnte gezeigt werden, daß eine angebbare Minimalzahl von Ionen pro Zentimeter erzeugt werden muß, damit der Geigersche Zähler auf jedes eintretende β-Teilchen anspricht. Die Arbeiten über die Anwendung radiochemischer Methoden auf Fragen der anorganischen und physikalischen Chemie wurden fortgesetzt. Eine Untersuchung über die Lebensdauer des Protactiniums scheint eine noch längere Halbwertszeit zu ergeben als früher angenommen wurde. Dies läßt die Herstellung chemisch wägbarer Mengen dieses neuen Elementes aussichtsreich erscheinen. Eine systematische Anreicherung des Protactiniums, schon früher begonnen, wurde daher mit neuen Methoden aufgenommen und läßt in absehbarer Zeit einen Erfolg erhoffen. Die Abteilung HESS hat die Arbeiten auf dem Gebiete der hochmolekularen Stoffe, namentlich der Cellulose, über die bei der letzten Gelegenheit ausführlicher berichtet wurde, weitergeführt. Im besonderen ist es gelungen, aus Bastfasern Cellulosekrystalle von der Größe von 0,1 bis 0,2 mm zu isolieren, deren äußere Form und Symmetrie unter dem Polarisationsmikroskop ohne weiteres erkennbar ist. Gleichzeitig konnte auch die Lage dieser Krystalle in der Zellwand durch ein besonderes Verfahren deutlich gemacht werden. Die für die Cellulose ausgearbeiteten Untersuchungsmethoden wurden auf das Inulin und das Glykogen übertragen und haben hier zu ähnlichen Folgerungen wie bei der Cellulose geführt. Nach diesen Untersuchungen muß angenommen werden, daß das Inulin und das Glykogen ebenfalls niedermolekulare Zuckeranhydride sind. Die Untersuchungen werden zur Zeit auch auf die Kartoffelstärke und das Mannan übertragen und bei den anderen Kohlehydraten weitergeführt.

Die Vorarbeiten für den schon lange geplanten Erweiterungsbau des Kaiser Wilhelm-Instituts für

physikalische Chemie und Elektrochemie konnten so weit gefördert werden, daß der Bau unmittelbar bevorsteht. Es kann damit gerechnet werden, daß der Bau schon Anfang des nächsten Jahres fertiggestellt sein wird. Prof. Dr. FREUNDLICH wurde zum stellvertretenden Direktor des Instituts ernannt. Das Auswärtige Wissenschaftliche Mitglied Prof. Dr. FRANCK in Göttingen erhielt den Nobelpreis für Physik. Dr. JAENICKE in Frankfurt/Main wurde zum Auswärtigen Wissenschaftlichen Mitglied des Instituts, und Dr. POLANYI, Wissenschaftliches Mitglied des Instituts, zum nichtbeamteten a. o. Professor ernannt.

Die Arbeiten des Kaiser Wilhelm-Instituts für *Kohlenforschung in Mülheim* a. d. Ruhr waren im letzten Halbjahr hauptsächlich auf die weitere Ausgestaltung der Erdölsynthese gerichtet. Eine Versuchsanlage für die Überführung der Laboratoriumsversuche in den Großbetrieb wurde im Institut errichtet und in Betrieb genommen. Die Mitteilung der Ergebnisse bleibt einem späteren Zeitpunkt vorbehalten. Der Direktor des Instituts, Geh. Reg. Rat Prof. Dr. FRANZ FISCHER, nahm an der Internationalen Kohlenkonferenz in Pittsburgh, Pennsylvania, die vom 15. bis 18. November 1926 stattgefunden hat, teil.

Im *Schlesischen Kohlenforschungs-Institut* der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Breslau hat der Ausbau erfreuliche Fortschritte gemacht. Einige Erweiterungsbauten sind noch in Arbeit. Bei dem engen Verbundensein des Instituts mit der oberschlesischen Montanindustrie hat die Arbeit sich vielfach auf technisch wichtige Fragen erstreckt. So ist in Versuchsöfen eigener Konstruktion das Koks-Studium an schlesischen Kohlen fortgeführt worden; auch haben die Arbeiten über pechloses Brikettieren schlesischen Steinkohlenstaubes weitere Förderung erfahren. Als vornehmste wissenschaftliche Aufgabe hat das Institut das Studium der Polymerisationsvorgänge betrachtet und ist dabei zu bemerkenswerten, wahrscheinlich auch technisch brauchbaren Resultaten gelangt, indem es lehrte, aus gewissen Abfallgasen der Kohleverarbeitung Öle verschiedenster Viscosität zu erzeugen. Weiter widmete sich das Institut der Fortführung von Lichtreaktionen und arbeitete dauernd an Oxydations- und Hydrierungsprozessen, sowie am Schutze empfindlichen organischen Materials gegen den Sauerstoff der Luft. Als praktisch bedeutsam dürften sich auch die Studien an Bergin-Rückständen erweisen.

Bei dem Kaiser Wilhelm-Institut für *Eisenforschung* in Düsseldorf machte die stete Erweiterung des Arbeitsgebietes und des Aufgabenkreises, mit denen eine Vermehrung der Betriebsmittel und des Personals Hand in Hand ging, eine räumliche Ausdehnung des Instituts notwendig. „Rheinmetall" überließ dem Institut zwei an das jetzige „Provisorium" anschließende Gebäudeteile mit einer Grundfläche von insgesamt 700 qm. Der Ausbau für die Zwecke des Instituts ist erst in Angriff genommen. Die neuen Gebäudeteile werden das stark erweiterte Laboratorium für Wärmestrahlung und Pyrometrie der physikalischen Abteilung, Lagerräume für Versuchsmaterialien und Werkstattsbedarf, und in einer großen Werkstattshalle das Schmelzlaboratorium der metallurgischen Abteilung aufnehmen. Die durch diese Verlegungen freiwerdenden Räumlichkeiten werden zu dringend benötigten Erweiterungen des elektrischen und magnetischen Laboratoriums der physikalischen Abteilung, der Abteilung für mechanische Werkstoffprüfung, und schließlich der technologischen Abteilung zum Studium der weiterverarbeitenden Prozesse nutzbar gemacht.

Im Kaiser Wilhelm-Institut für *Metallforschung* konnten mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und des Zentralwalzwerksverbandes, sowie mit Hilfe von Materialstiftungen von Mitgliedern dieses Verbandes die planmäßigen Untersuchungen im beabsichtigten Umfange durchgeführt werden.

Die wissenschaftlichen Arbeiten des Kaiser Wilhelm-Instituts für *Faserstoffchemie* bezogen sich in der Berichtszeit in der Hauptsache auf die Fortsetzung der Cellulosestudien. Daneben wurden Vorversuche über den Aufbau des Lignins in Angriff genommen.

Die allgemeinen Arbeiten des Kaiser Wilhelm-Institus für *Lederforschung* in Dresden über hochmolekulare Stoffe, insbesondere Eiweißstoffe und Proteine wurden lebhaft weitergeführt. Zugleich wurde auch das Studium der chemischen Eiweißbausteine der Proteine und ihrer biologischen Umwandlungen eingehend behandelt. Die gerbereichemischen Arbeiten des Instituts wurden fortgesetzt und auf das Verhalten von Salzen gegen Kollagen und auf die mechanische Prüfung von Leder ausgedehnt. Der Direktor des Instituts, Prof. Dr. BERGMANN, hat für die Dauer von 2 Jahren den Vorsitz des Internationalen Vereins der Lederindustrie-Chemiker übernommen.

Das Kaiser Wilhelm-Institut für *Silikatforschung* hat in dem verflossenen Halbjahre zum ersten Male mit der bei der Gründung vorgesehenen vollen Zahl von Mitarbeitern seine Tätigkeit durchführen können. Die apparative Ausstattung des Instituts wurde bis auf einzelne Punkte vervollständigt. Leider haben verschiedene notwendige Erneuerungsarbeiten an den Exhaustoren und die Neueinrichtung der Entlüftung des Akkumulatorenraumes sowie des Röntgenraumes und Maschinensaales zeitweise Hemmungen veranlaßt, die bei dem schnellen Tempo der fortschreitenden Arbeiten öfters sehr empfunden wurden. Es ist in der nächsten Zeit auch die Verstärkung der Versorgung mit elektrischem Kraftstrom vorgesehen, und zwar wegen der fortwährend zunehmenden Beanspruchung des Netzes durch Öfen und Niederspannungs-Transformatoren. Es soll in nächster Zeit eine Hochspannungs-Transformatorenstation errichtet werden, deren Strom alsdann das Institut von den vordem so lästigen erheblichen Netzschwankungen unabhängiger machen wird.

Der Direktor des Kaiser Wilhelm-Instituts für *Physik*, Prof. Dr. EINSTEIN, wurde von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften zum korrespondierenden Mitglied, und von der Russischen Akademie der Wissenschaften zum Ehrenmitglied gewählt.

Im Kaiser Wilhelm-Institut für *Strömungsforschung* in Göttingen wurden die Versuchseinrichtungen der Abteilung für Strömungsforschung, welche nach dem Ausscheiden von Dipl.-Ing. ACKERET nunmehr von Dr.-Ing. BUSEMANN geleitet wird, vervollständigt, und zwar durch eine größere Einrichtung mit Wassertank zur photographischen und kinematographischen Verfolgung von Strömungsvorgängen, sowie durch verschiedene kleinere Apparate. Der Neubau des Luftschraubenlaboratoriums der Aerodynamischen Versuchsanstalt ist im Dezember 1926 unter Dach gekommen und befindet sich zur Zeit im inneren Ausbau. Der Direktor des Instituts, Prof. Dr. PRANDTL, erhielt die goldene Medaille der Englischen Aeronautischen Gesellschaft.

Das Kaiser Wilhelm-Institut für *Deutsche Geschichte* wird den ersten Band der Germania sacra, welcher die Diözese Brandenburg umfassen soll, in Kürze zum Druck geben. Von den Kaiser Wilhelm-

Briefen ist ein neuer Band herausgekommen, der die Briefe des alten Kaisers an seine Schwester Alexandrine, Großherzogin von Mecklenburg-Schwerin, enthält. Fertig sind auch die Briefe des Kaisers an seine Schwester Charlotte, Kaiserin von Rußland. Diesen Briefen kommt die größte Bedeutung zu; sie übertreffen an Zahl und Reichtum die anderen Familienbriefe. Der Druck der beiden ersten Bände soll sogleich beginnen. Die politische Korrespondenz Karls V., seit Beginn des Instituts geplant, aber wegen der politischen und wirtschaftlichen Verhältnisse zurückgestellt, ist jetzt in Angriff genommen worden. Die Historische Akademie in Madrid ernannte den Direktor des Instituts, Geh. Oberregierungsrat Prof. Dr. KEHR, zum korrespondierenden Mitglied in Anerkennung seiner Verdienste um die im päpstlichen Auftrage ausgeführten Erforschungen der in Spanien befindlichen Papsturkunden.

Das Institut für *ausländisches öffentliches Recht und Völkerrecht* wurde um ein Referat für Italien erweitert. Der Plan, eine Monographien-Reihe durch das Institut herauszugeben, ist so weit gefördert, daß die ersten Hefte zum baldigen Erscheinen fertiggestellt worden sind. Die Zweigstelle *Trier* des Instituts widmete sich nach wie vor der Bearbeitung der Rheinlandbesatzung und des Staats-Kirchenrechts. Die Bücherei des Instituts umfaßte am 31. März 1927 etwa 30 000 Bände; der Zuwachs in der Berichtszeit von etwa 9400 Bänden ist zu einem beträchtlichen Teil der Unterstützung durch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft zu verdanken, nämlich mit etwa 1000 Bänden; 70 Bände gingen als Geschenk von anderer Seite ein. Der Bücherbestand der Zweigstelle Trier erreichte 3413 Bände; 35 Zeitschriften werden dort laufend bezogen.

Das Institut für *ausländisches und internationales Privatrecht*, das mit dem 1. April 1926 ins Leben getreten ist, hat die Aufgabe, die große deutsche zentrale Forschungsstelle für das Privatrecht der ausländischen Staaten und für die Rechtsnormen des internationalen bürgerlichen und kaufmännischen Rechtsverkehrs zu sein. Insbesondere auch soll es durch Herausgabe einer großen Zeitschrift der Wissenschaft und Praxis auf diesen Gebieten dienen, an den Aufgaben der zivilrechtlichen Gesetzgebung anregend mitwirken und darüber hinaus die deutsche Rechtswissenschaft durch Förderung der vergleichenden Methode bereichern und befruchten.

Diese umfangreichen Aufgaben konnten selbstverständlich im ersten Jahre des Bestehens nur vorbereitet werden. Das erste Jahr war daher vor allem dem Aufbau der Bücherei, der Einführung und Schulung der Arbeitskräfte, der Aufnahme wissenschaftlicher Beziehungen mit Gelehrten des In- und Auslandes und der Vorbereitung der Zeitschrift gewidmet.

An größeren Bearbeitungen konnte ein Bericht über die Rechtsentwicklung in Italien in der ersten Hälfte des Jahres 1926 fertiggestellt werden. Eine Darstellung der sogenannten Uniform State Laws der Vereinigten Staaten befindet sich in Arbeit. Berichte über die Gesetzgebung anderer Staaten werden teils im Institut selbst, teils durch ausländische Gelehrte vorbereitet. Der Aufbau der Bücherei wurde in höchst dankenswerter Weise durch die Hilfe der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und durch eine Spende des Herrn Geheimrats N. Caro ermöglicht.

In der *Hydrobiologischen* Anstalt der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft in Plön wurden die Arbeiten über die Uferfauna norddeutscher Seen, insbesondere kalkarmer Seen, fortgesetzt; ebenso die Untersuchungen über die Stickstoff-Phosphorsäure- und Kieselsäure-Verbindungen und ihre Rolle im Gesamtstoffhaushalt der Seen. In Ergänzung der biologischen Studien an den Salzgewässern von Oldesloe wurden auf Anregung der Anstalt nunmehr auch die Salzinfusorien eingehend untersucht; eine größere Arbeit darüber befindet sich im Druck. Durch umfangreiche Berechnungen konnte die Bedeutung der Form des Seebeckens für die Seetypenlehre zahlenmäßig festgelegt werden. Der Leiter der Anstalt, Prof. Dr. AUGUST THIENEMANN, wurde von der Russischen Gesellschaft zur Erforschung des Wassers und seines Lebens zum Ehrenmitglied ernannt. Von der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien wurde ihm die Erzherzog Rainer-Medaille für Forschung auf dem Gebiete der Seenkunde verliehen.

Die innere Ausgestaltung der neu geschaffenen Räume der *Biologischen Station Lunz* am See (Niederösterreich) hat weitere Fortschritte gemacht. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien errichtete an der Biologischen Station Lunz eine meteorologische Beobachtungsstation erster Ordnung und stattete sie mit allen nötigen Instrumenten aus. Der Leiter der Biologischen Station Lunz, Dr. RUTTNER, wurde zum Professor ernannt.

Die *Vogelwarte Rossitten* der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft leitete Versuche ein über die Frage nach dem Orientierungsvermögen der Zugvögel, indem Jungvögel aufgezogen und so lange zurückgehalten wurden, bis sämtliche Artgenossen abgezogen waren. Ergebnisse liegen bereits vor. Der Leiter der Vogelwarte, Professor Dr. JOHANNES THIENEMANN, wurde von der Amerikanischen Ornithologischen Gesellschaft und der Naturforschenden Gesellschaft in Danzig zum korrespondierenden Mitglied sowie von dem Naturforscher-Verein in Riga zum Ehrenmitglied ernannt.

Das Deutsche *Entomologische Museum* der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft setzte die in Angriff genommene Bearbeitung der Bibliographie der entomologischen Literatur der Welt, die Zeit vom Altertum bis zum Jahre 1863 umfassend, fort, so daß sich das Werk seiner Vollendung nähert. Der Leiter des Museums, Dr. HORN, wurde von der Chilenischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft in Santiago zum Ehrenmitglied ernannt.

Die meteorologischen Beobachtungen am *Sonnblick- und Obir-Observatorium* in Österreich wurden im Ausmaß einer meteorologischen Station I. Ordnung planmäßig fortgeführt. Im übrigen beschränkte sich die Tätigkeit, der Jahreszeit entsprechend, auf Vorbereitungen für wissenschaftliche Messungen im kommenden Sommer. Die Strahlungsmessungen auf dem Obir sollen bereits im Juni d. J. beginnen.

Die Zahl der Mitglieder der Gesellschaft ist im Verlauf des Halbjahres um 75 auf 538 gestiegen. Es ist dies ein Erfolg, welcher in erster Linie der Werbetätigkeit der Mitglieder selbst zu danken ist. Die persönliche Fühlungnahme mit den Mitgliedern der Gesellschaft wurde weiter gepflegt. Für die Senatoren und Mitglieder wurden Abzeichen geschaffen, welche auch in abgeänderter Form an Persönlichkeiten mit besonderen Verdiensten um die Gesellschaft verliehen werden können. Auch wurde der Verkehr mit der Presse weiter ausgebaut. Um den Boden für die Mitgliederversammlung vorzubereiten, wurde im Mai d. J. im Kaiser Wilhelm-Institut für Lederforschung in Dresden ein Empfang der sächsischen Presse mit nachfolgender Besichtigung des Instituts veranstaltet. Es ist beabsichtigt, diesen Weg weiter zu verfolgen und

auch in den anderen außerhalb Berlins liegenden Instituten ähnliche Empfänge abzuhalten.

Einen schmerzlichen Verlust erlitt die Gesellschaft durch den Tod ihres Senators, des Ministerialrats a. D. Dr. MOLL, Leiters der Geschäftsstelle der Vereinigten Preußischen Provinzen. Seine Verdienste um die Gesellschaft werden nicht vergessen werden. Eine Zahl verdienter Mitglieder wurde der Gesellschaft durch den Tod entrissen. Es sind dies die Herren Kommerzienrat KLASING in Bielefeld, Kommerzienrat Dr. FRANK, Berlin, und Kommerzienrat BRINKMAN, Harburg. Auch sie werden nicht vergessen werden.

Zum Senator wurde Herr Dr.-Ing. e. h. C. F. v. SIEMENS gewählt.

Der bisherige Direktor der Gesellschaft, Dr. Dr. GLUM, wurde zum Generaldirektor ernannt und die Stellen zweier gleichgestellter Geschäftsführer geschaffen. Zum 1. Geschäftsführer mit der Bezeichnung „Direktor" wurde der bisherige Oberregierungsrat im Preußischen Ministerium für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung, Dr. Dr. MORSBACH berufen, während der bisherige Verwaltungsassistent Dr. v. CRANACH zum 2. Geschäftsführer ernannt wurde. Generaldirektor Dr. Dr. GLUM hielt im Januar d. J. in Kopenhagen in der „Gesellschaft von 1916" einen Vortrag über die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft.

v. HARNACK. GLUM.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Bemerkungen zur Mitteilung über eine Volksversammlung von Krähen.

(Nr. 20 dies. Zeitschr. 1927.)

Wir haben in der zitierten Mitteilung eine anthropzentrisch überfärbte Gebarenschilderung vor uns, deren Hingabe an die primäre Geschehenswahrnehmung nur zu Mißverständnissen, nie aber zu Erklärungen führen. Was liegt eigentlich in der versuchten Wiederbelebung der Denktierbegebenheit an Konkretem vor? Was sind organisierte Krähen? Was heißt bei ihnen Volksversammlung, Präsident, Eindringlichkeit einer Sprache (nach Sinn, Artikulation?), von der wir doch nur wenig modulierte Rufe vernehmen und aus guten Untersuchungsgründen behaupten dürfen, daß es bei Tieren überhaupt keine sinnvolle Sprache gibt. Ist es nicht auffällig, daß wild lebende Tiere gerade zu einer Zeit in die „Sommerfrische befohlen" werden, in der wir selber an die Besorgung einer solchen denken? Zu lose interpretative Momente fürwahr, um daraus einen „Beitrag zur Kenntnis der Sprache und der Organisation (?) der Vögel" zurecht zu zimmern. Es wäre vielleicht angezeigt gewesen, an Stelle dieser Schemen nach den Auswirkungen der Zyklen der endokrinen Steuerungen nach der saisonalen Brut- und Wanderbetätigung u. a. zu fragen, die sich durchsetzen, immer und überall, mit und ohne Sprache. Wollte man alle bestehenden Unklarheiten des Vogelzuges psychologisierend aufhellen, so könnte man ohne Schwierigkeit eine vollständige Psychologie der Tiere schreiben; sehen doch schließlich alle Lebensvorgänge so aus, als ob sie psychisch gelenkt sein würden; aber der Schein trügt; man darf jedenfalls, ohne das freie Recht des Glaubens, Meinens und Dafürhaltens, nur im geringsten einengen zu wollen, sagen, daß man über den Tübinger Krähenzug ganz anders denken darf, als Autor guten Glaubens war.

Prag, den 27. Juni 1927. H. DEXLER.

* * *

Zu der vorstehenden Zuschrift bemerke ich folgendes, obwohl sich Herr DEXLER eigentlich nur mit meiner Person und nicht mit der Sache befaßt. Ich habe eine möglichst genaue Beschreibung einer von mir gemachten Beobachtung gegeben. Zu der „Feststellung des tierischen Verhaltens", wie W. TRENDELENBURG in seiner Tübinger Rektoratsrede[1]) die erste Aufgabe tierpsychologischer Forschung bezeichnet, habe ich, wie TRENDELENBURG an der gleichen Stelle es nennt, mich einer „übertragenen Ausdrucksweise" bedient, indem ich z. B. das Wort „sprechen" benutzte. In dem letzten Satze meiner Zuschrift habe ich die rhetorische Frage gestellt, ob wohl „eine subjektive Ausdeutung dieses Verhaltens" (c. f. TRENDELENBURG) im Sinne der Annahme einer Versammlung zu bestimmtem Zwecke denkbar ist.

Von einem nicht zu billigenden Anthropomorphismus, dem ich huldigte, oder den DIE NATURWISSENSCHAFTEN begünstigten, kann hier gar keine Rede sein, ebensowenig wie in anderen Artikeln, die ich in den NATURWISSENSCHAFTEN über die *Sprache der Bienen* und über den *organisierten Bienenstaat* schon wiederholt gelesen habe. Es ist mir nichts davon bekannt, daß Herr DEXLER etwa hiergegen einen Einspruch erhoben hat; er hätte sich allerdings auch gegen einen Herrn VON FRISCH richten müssen!

Tübingen, den 18. Juli 1927. W. GERLACH.

[1]) Verlag J. C. B. Mohr, Tübingen 1927.

Unrichtige Angaben über die Geschichte der Photographie in der naturwissenschaftlichen Literatur.

Es finden sich andauernd unrichtige Angaben in der naturwissenschaftlichen Literatur, die trotz wiederholter Richtigstellung immer wieder auftauchen. Besonders störend ist dies in Lehrbüchern, die der studierenden Jugend in die Hand gegeben werden. So findet sich in OPPENHEIMERS „Grundriß der anorganischen Chemie" 1924, im Kapitel „Photographie", folgende unrichtige Darstellung: „Auf der zuerst von FABRICIUS 1565 am Chlorsilber beobachteten Eigentümlichkeit der Silberverbindungen, sich im Lichte *unter Ausscheidung von geringen Mengen metallischen Silbers* zu verändern, beruht die Photographie".

Demgegenüber ist festzustellen: FABRICIUS (1565) hat *nicht* das geringste über die Lichtempfindlichkeit des Chlorsilbers geschrieben und am allerwenigsten „die Ausscheidung von metallischem Silber im Lichte" beobachtet; er hat lediglich von einer Art Silbererz unter dem Namen *Hornsilber* (Chlorsilber) berichtet. Den Irrtum, daß er eine Veränderung im Lichte beobachtet haben soll, wurde von mir wiederholt richtiggestellt (zuerst 1881, dann in meiner „Geschichte der Photographie", 3. Aufl. 1905, und in meinen „Quellenschriften zu den frühesten Anfängen der Photographie" 1913, Halle a. S.) Es wurde auch der Versuch gemacht,

Homberg als den Entdecker der Lichtwirkung auf Silbersalze hinzustellen, weil er 1694 der Akademie der Wissenschaft in Paris ein kleines Büchslein aus marmorierten Ochsenbein vorzeigte, das er mit Silbernitrat getränkt und dann an der Sonne geschwärzt hatte; dieses Bein hatte er in einer Drehbank oberflächlich abgedreht, bis einige weiße Beinstellen sichtbar wurden und so eine Marmorierung ergaben. Homberg erwähnte *nicht*, daß das Bein auf der Schattenseite weiß geblieben wäre, und hielt nicht Licht- und Wärmewirkung auseinander... Nichtsdestoweniger schreiben J. Eggert und W. Noddack in Die Naturwissenschaften 1927, S. 57, dem erwähnten Homberg[1]) die älteste Beobachtung zu, die mit der Photographie im Zusammenhang steht. Aber ein Experimentator, der nicht den Unterschied zwischen Licht- und Schattenwirkung erkannt hat, kann wohl nicht als ein Vorläufer der Photographie bezeichnet werden. Die ersten systematischen Untersuchungen über die Lichtempfindlichkeit von Silbersalzen rühren von Johann Heinrich Schulze, Prof. in Altdorf, 1727 her. Er erkannte den Unterschied zwischen der Schwärzung im Lichte und dem Weißbleiben im Schatten, kopierte mit Schablonen Schriftzüge auf seinen Brei von Silbernitrat und Kreide und hielt die Wirkung des Lichtes von der Wärmewirkung auseinander, weshalb er der wahre Entdecker der Lichtempfindlichkeit der Silbersalze und des ersten photographischen Kopierprozesses ist[1]). In analogen systematischen Versuchsreihen erkannte Beccaria in Turin die Lichtempfindlichkeit des Chlorsilbers auf Papier als erster. Man darf beide nicht übergehen, wenn man die älteste Geschichte der Photographie schildert, und es darf Scheele nicht als der erste bezeichnet werden, der die Lichtempfindlichkeit der Silbersalze systematisch untersuchte (1777). Scheele entdeckte die Wirkung des Sonnenspektrums auf Chlorsilber.

Mit Hinblick auf die eingangs zitierte Publikation sei hervorgehoben, daß *nicht* Fabricius, sondern Scheele zuerst angab, daß das im Licht geschwärzte Chlorsilber beim Auflösen in Ammoniak metallisches Silber hinterläßt und daß Scheele zuerst 1777 den Schluß zog: *Also ist die Schwärzung, welche das Hornsilber vom Lichte erhält, reduziertes Silber.* — In dem erwähnten „Grundriß der anorganischen Chemie" ist somit diese Entdeckung um 212 Jahre zu früh datiert und einem Manne zugeschrieben, der keine Ahnung von der Sache hatte.

Wien, den 1. Juli 1927. Josef Maria Eder.

[1]) Durch Druckfehler heißt es in der zitierten Abhandlung „Gomberg" statt Homberg.

[1]) S. Eder, „Johann Heinrich Schulze. Der Lebenslauf des Erfinders des ersten photographischen Verfahrens" 1927. W. Knapp.

Besprechungen.

Müller-Pouillets **Lehrbuch der Physik.** 11. Auflage. Band II: *Lehre von der strahlenden Energie (Optik)*. Erster Halbband, herausgegeben und bearbeitet unter Mitarbeit von H. Erggelet, F. Jüttner, A. König, M. v. Rohr, E. Schrödinger von O. Lummer. XVIII, 928 S. und 624 Abbild. Preis geh. RM 50.—, geb. RM 54.—. Band III: *Wärmelehre*, unter verantwortlicher Leitung von Arnold Eucken. Erste Hälfte: Physikalische, chemische und technische Thermodynamoik (einschließlich Wärmeleitung), unter Mitwirkung von U. Ebbecke, M. Jacob, A. Magnus, F. Pollitzer, F. Sauerwald, R. Suhrmann, G. Zerkowitz bearbeitet von A. Eucken. XVIII, 1185 S. und 575 Abbild. Preis geh. RM 63.—, geb. RM 68.—. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges. 1926.

Als der zuerst ausgegebene Teil der neuen Auflage des Müller-Pouillet erschien, schrieb Science Progress: „Wir gestehen offen, daß wir die deutschen Physiker um ihren Besitz an dieser Art Literatur beneiden. Die moderne englische physikalische Literatur besteht aus einer kleinen Anzahl Monographien über Einzelfragen, einigen zusammenfassenden Berichten, die die Physical Society und das Bureau of Standards veröffentlicht haben und einigen Übersetzungen fremdsprachiger Werke, die unausweichlich schon im Veralten sind, wenn sie erscheinen". Die deutschen Physiker sind in der Tat reich an Handbuchliteratur jeder Art. Selbstverständlich kann nicht jedes Sammelwerk alle Einzelheiten der Phsyik behandeln. Aber wenn die vier physikalischen Sammelwerke abgeschlossen sein werden, die gegenwärtig bei der Akademischen Verlagsgesellschaft, Johann Ambrosius Barth, Julius Springer und Friedrich Vieweg erscheinen, wird es schwerlich eine physikalische Literaturstelle geben, die nicht wenigstens an *einer* zuständigen Stelle verwertet und in das große Ganze hineingestellt worden ist. Man wird sich dann über den gegenwärtigen Stand der physikalischen Forschung nirgends so zuverlässig unterrichten können, wie in diesen neuesten physikalischen Sammelwerken deutscher Sprache.

Das Lehrbuch von Müller-Pouillet nimmt eine Sonderstellung in der deutschen physikalischen Literatur ein: es ist das älteste unter den lebenden Lehrbüchern, hat sich immer wieder verjüngt und steht jetzt aufs neue in voller Lebenskraft vor uns. In jahrzehntelanger Entwicklung aus Pouillets Lehrbuch der Physik hervorgegangen, das Dr. Joh. Müller „für deutsche Verhältnisse frei bearbeitet" hatte und das zwischen 1842 und 1869 sieben Auflagen erlebt hatte, führt es der Verlagskatalog von Vieweg als Lehrbuch der Physik und Meteorologie seit dem Jahre 1876 in immer neuen Auflagen auf, jedesmal ein anderes Buch und doch jedesmal dasselbe, „geprägte Form, die lebend sich entwickelt". Die verschiedenen Ausgaben und Auflagen nebeneinander geben sicherlich in vielen Abschnitten ein Bild von der Wandlung der Anschauungen und von der Entwicklung der Physik seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts. Freilich im wesentlichen der experimentellen, aber auch hierin ist allmählich ein Wandel eingetreten. Schon die neunte Auflage, die 1886 zu erscheinen anfing, die letzte noch von Leopold Pfaundler bearbeitete und schon unter Lummers Mitarbeit erschienene, zeigt die Ansätze hierzu, und der von Herzfeld stammende Beitrag der neuesten Auflage, der elften, bildet eine charakteristische und höchst willkommene Erweiterung der Grenzen, in denen sich die theoretische Darstellung im Müller-Pouillet bisher bewegt hat. Auch hier beweist das Buch seine verständnisvolle Anpassung an das durch die Entwicklung notwendig Gewordene — die mechanische Wärmetheorie kommt ebenso zu ihrem Recht wie die Quantentheorie oder wie die Theorie der optischen Instrumente. Daß das in den von Eucken geschriebenen umfangreichen Teilen des Wärmebandes be-

sonders zum Ausdruck kommt, bedarf kaum der Erwähnung.

Über den Umfang des auszuwählenden Stoffes und über die Ausführlichkeit in der Behandlung der einzelnen Dinge kann man verschiedener Ansicht sein. Es gibt dafür weder eine Norm, noch eine sonst wie verbindliche Vorschrift. Es ist durchaus Ansichtssache des Bearbeiters, wieviel und in welcher Vertiefung er eine bestimmte Frage behandeln will. Selbst für ein Handbuch ist es kaum möglich, eine Norm dafür aufzustellen, die Forderung der absoluten Vollständigkeit in der Berücksichtigung der einzelnen Arbeiten würde ein Handbuch zu einem unübersichtlichen und unkritischen Konglomerat gestalten und es zu einem Zentralblatt in Buchform machen. Der MÜLLER-POUILLET ist von je her ein Lehrbuch gewesen und ist es zum Glück auch in der neuen Auflage geblieben, aber er hat doch jetzt einen Umfang angenommen, der ihn fast als Handbuch erscheinen läßt. Die Personen- und Sachkenntnis der Herausgeber hat dem Buche für jeden Teil Mitarbeiter verschafft, deren Namen von vornherein für die Ausführung bürgen. Für die Optik hat LUMMER, soweit er sie nicht selber bearbeitet hat, ERGGELET, KÖNIG, VON ROHR und SCHRÖDINGER gewonnen. KÖNIG und VON ROHR haben in der Theorie der optischen Instrumente das von LUMMER begonnene Werk in vollkommenster Weise fortgesetzt und abgeschlossen. Der erfreulich ausführliche Abschnitt von SCHRÖDINGER über die Gesichtsempfindungen, im besonderen die Farbenlehre nach der HELMHOLTZschen Theorie ist eine wertvolle Bereicherung des Buches gegenüber den früheren Auflagen und ist hoffentlich der Vorläufer für eine ebenso ausführliche und ebenso vortreffliche Darstellung über die räumlichen Gesichtswahrnehmungen. Freilich zieht damit die Physiologie überhaupt in das Lehrbuch der Physik ein, eine Neuerung, die der Referent persönlich mit besonderer Freude begrüßt, da er in einem so groß angelegten Lehrbuch die Biophysik für ebenso notwendig hält wie die Geophysik und die Astrophysik, die den Herausgebern aber noch viel Kopfzerbrechen verursachen wird. Der Wärmeband zeigt in erfreulicher Weise, in welchem Umfange die neue Auflage die technisch angewendete Physik behandelt. Die Beiträge von JAKOB über Wärmeleitfähigkeit und die von ZERKOWITZ über die Thermodynamik der Dampfmaschinen und Turbinen, von POLLIKER über die Erzeugung von Kälte, Verflüssigung von Gasen und dergleichen mehr, haben als besonders wertvolle Bereicherung der neuen Auflage zu gelten.

Auf die Kapitel im einzelnen einzugehen, ist unnötig und auch kaum möglich, weil jedes den gleichen Anspruch auf eine eingehende Besprechung hat, dazu aber weder die Zuständigkeit eines Einzelnen, noch der zur Verfügung stehende Raum ausreicht. Auf einen besonderen Dank für die mühevolle und oft undankbare Arbeit hat Herr EUCKEN Anspruch, nicht nur als Mitarbeiter, sondern auch als Herausgeber. Als Mitarbeiter hat er selber etwa 30 Bogen des 73 Bogen umfassenden Wärmebandes geschrieben und damit der neuen Auflage einen besonderen Wert verliehen. Als Herausgeber hat er sich mit Herrn WAETZMANN zusammen einer Mühe unterzogen, die wohl nur der richtig einzuschätzen weiß, der am eigenen Leibe dauernd die Leiden des Herausgebers erfährt. Unter den Höllenstrafen der Göttlichen Komödie fehlen sie — aus einem naheliegenden Grunde, aber *nur* aus diesem. Hätte DANTE sie schon gekannt, er hätte dem, der das Amt eines Herausgebers versehen hat, das Inferno erspart, weil er seine Schuld bereits auf Erden gebüßt hat. An seiner Statt hätte er die säumigen Mitarbeiter in den tiefsten Höllenkreis verdammt, um sie mit den Leiden des Herausgebers zu schlagen. *Utinam!*

ARN. BERLINER, Berlin.

ZSIGMONDY, RICHARD, **Kolloidchemie.** 5. Auflage. I. Band: Allgemeiner Teil. Leipzig: Otto Spamer 1925. 246 S., 7 Tafeln und 34 Abb. Preis geh. RM 11.—, geb. RM 13.50.

Die 5. Auflage von ZSIGMONDYS Kolloidchemie hat in dem zunächst und gesondert erschienenen allgemeinen Teile eine weitgehende Neugestaltung erfahren, die sich nicht nur in einem gegenüber der 4. Auflage (1922) um über die Hälfte gestiegenen Umfange (246 S.) äußert, sondern mehr noch in der ganz neuartigen Anordnung des Stoffes zutage tritt, die jetzt mit größerer systematischer Strenge durchgeführt worden ist. Indessen handelt es sich nicht allein um eine Umstellung und Erweiterung der älteren Kapitel, sondern, wie eine genauere Durchsicht lehrt, zugleich um eine strengere Formulierung zahlreicher Stellen des alten Textes.

Wer insbesondere vom Standpunkt des Chemikers aus, dem das Buch in erster Linie gerecht werden will, Eingang in das an individuellen Mannigfaltigkeiten so reiche Gebiet der Kolloidchemie suchte, hat hierfür seit jeher den allgemeinen Teil dieses Werkes des Altmeisters bevorzugt, dessen durch Sachlichkeit und Kritik ausgezeichnete Ausführungen eine besonders klare Übersicht über die allgemeinen Grundsätze und Methoden der Kolloidchemie als Vorbereitung auf das Verständnis und Studium spezieller Systeme vermitteln.

Die vorliegende Neubearbeitung dieses allgemeinen Teiles läßt diese Vorzüge nur noch stärker zur Geltung gelangen und rechtfertigt damit und durch die Geschlossenheit und Vollständigkeit seines Inhaltes eine gesonderte Ausgabe.

Ein charakteristisches Merkmal des Lehrbuches von ZSIGMONDY ist stets die große Gewissenhaftigkeit gewesen, mit der Tatsachen und Hypothesen geschieden, Deutung eines besonderen Vorganges und Verallgemeinerung dieser Deutung mit strenger Kritik erwogen wurden. Bei dieser jeder voreiligen Verallgemeinerung abholden Einstellung des Verf. ist zugleich für den gegenwärtigen Stand der Kolloidchemie — als eines an Gesetzmäßigkeiten und an Exaktheit zunehmenden Forschungsgebietes — die Tatsache außerordentlich kennzeichnend, daß er sich entschließen konnte, viele an einzelnen Kolloiden abgeleiteten Erfahrungssätze, die später eine Bestätigung auch an anderen Systemen gefunden haben, nunmehr zusammenfassend im allgemeinen Teile zu besprechen.

Nach einer den Definitionen und den klassischen Methoden der Kolloidchemie gewidmeten Einleitung erfolgt die Behandlung der Strukturlehre (Primär-, Sekundärteilchen, Gele, Membranen), deren Methoden, einschließlich des kurz besprochenen Debye-Scherrer-Verfahrens, in einem besonderen Abschnitte zusammengefaßt sind.

Ein eigenes Kapitel ist den Grenzflächenerscheinungen gewidmet (Adsorption, Quellung usw.), unter denen insbesondere auch die Arbeiten über die Lagerung von Molekülen in Ölhäutchen eingehender berücksichtigt werden. VOLMERS inzwischen veröffentlichte interessante Übertragung des Gasgesetzes auf adsorbierte Oberflächenschichten wird man zusammen mit seinen älteren Studien über Wachstumsvorgänge an Krystallen wohl in der nächsten Auflage erwarten dürfen.

Der auf die Grenzflächenerscheinungen folgende Abschnitt handelt von den kinetischen und elektrischen Grundlagen. Hier werden einerseits die mit der BROWN-

schen Bewegung im Zusammenhange stehenden Tatsachen, andererseits die elektrischen Eigenschaften der Kolloide erörtert, um daran die Besprechung der Teilchenentladung und der Koagulationstheorie zu knüpfen. Hieran schließt sich in einem neuen Kapitel die Behandlung der elektrischen Eigenschaften unter chemischen und physikalischen Gesichtspunkten (neuer Begriff der Micelle, Peptisation, Fällungsreaktionen), an das sich ein kürzerer Abschnitt über Membrangleichgewichte reiht.

Verschiedenartige Erscheinungen, wie Viscosität, Wärmetönung, LIESEGANGsche Schichtungen werden im vorletzten Kapitel vereinigt, während das letzte den rein chemischen und den vorwiegend elektrischen Reaktionen der Kolloidteilchen gewidmet ist und die Theorie der Schutzwirkung behandelt.

Dem vorzugsweise auf die Tatsachen gerichteten Charakter dieses Buches entsprechend werden spekulative Erörterungen nach Möglichkeit vermieden, ist doch auch die bahnbrechende Forschertätigkeit des Verf. immer darauf gerichtet, an Stelle der Hypothesen Tatsachen zu setzen. Darüber hinaus wird auch in dieser Auflage auf die mathematische Ableitung und theoretische Begründung der überdies nicht zahlreichen Formeln verzichtet, die, wie aus Hinweisen zu entnehmen ist, der Leser nebst anderen theoretisch-physikalischen Betrachtungen dem hierdurch gekennzeichneten Werke von FREUNDLICH über Kapillarchemie entnehmen möge. Aus dieser Beschränkung, die sowohl dem reinen Chemiker wie den zahlreichen Freunden der Kolloidchemie aus den Nachbarwissenschaften und der Medizin nicht unwillkommen sein wird, erwächst dem Verf. der Vorteil einer zusammenhängenden, nicht durch Rechnungen an Übersichtlichkeit verlierenden Darstellung, die zugleich mit einer Mindestzahl von Hypothesen belastet ist. So ist dieses neugestaltete Werk berufen, ein ebenso eindringliches und strenges, doch nicht minder auch genußreiches Studium der Kolloidchemie einzuleiten.

Wenn der spezielle Teil der 5. Auflage einer ähnlich liebevollen Neubearbeitung unterzogen wird, darf auch diese Gabe an die Lernenden und Lehrenden der Chemie und der ihr nahestehenden Fächer mit besonderer Freude erwartet werden.

LOTHAR HOCK, Gießen.

FREUNDLICH, HERBERT, **Fortschritte der Kolloidchemie.** Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1926. 109 S. und 47 Abbild. Preis geh. RM 5.50.

Bei der Fülle der Veröffentlichungen gerade auch aus dem Gebiete der Kolloidchemie mit ihren vielfältigen Beziehungen zu so zahlreichen Nachbargebieten ist nicht nur dem ihr fernerstehenden Leser ein Führer willkommen, der mit sicherem und kritischem Blicke aufzeigt, wo eine Vertiefung älterer Erkenntnisse gewonnen wurde oder wo neue Wege beschritten worden sind, die für die Auffassung der kolloidchemischen Erscheinungen von Bedeutung zu sein versprechen; auch wer die neuere Literatur regelmäßig verfolgt oder Veranlassung hat, ihren Stoff und Gehalt für Vorlesungen zu verarbeiten, wird dem Verfasser dankbar sein für die Sammlung und systematische Einordnung der neueren Ergebnisse, die hier kurz und kritisch dargestellt werden und zu deren eindringlichem Studium sehr ausführliche Literaturhinweise einladen.

Das Büchlein ist aus Vorlesungen entstanden, die der Verfasser gelegentlich einer Vortragsreise in den Vereinigten Staaten im Sommer 1925 gehalten hat; wie aus dem Text und einigen Literaturhinweisen aber hervorgeht, sind bei seiner Abfassung indessen auch noch neuere Arbeiten berücksichtigt worden. Sein Inhalt zerfällt in folgende 8 Abschnitte: Adsorption (1—12), elektrokinetisches Potential (12—26), Adsorption, Wertigkeit, Koagulation (26—41), Koagulationsgeschwindigkeit (41—54), Beständigkeit hydrophiler Sole (54—66), Formart und Gestalt der Teilchen (66 bis 84), Grenzflächengrößen (84—94), Photodichroismus und Verwandtes (94—104).

Wie mit einigen kurzen, aber bestimmt hingesetzten Skizzenstrichen wird jeder Abschnitt eingeleitet durch einen Rückblick auf die schon länger bekannten Tatsachen und Deutungen, um von dieser Grundlage aus vorzudringen zu tieferer Einsicht, wie sie durch die neueren Untersuchungen vermittelt wird. Bei der Adsorption wird in dieser Weise die TRAUBEsche Regel zum Ausgangspunkte genommen und aus den Versuchen O. WARBURGS gedeutet. Daneben findet insbesondere der Zusammenhang von Adsorption und Chemilumineszenz Würdigung. Leider vermißt man ein Eingehen auf die Versuche und theoretischen Überlegungen VOLMERS, die infolge der Benutzung definierter Oberflächen (Hg-Kügelchen) für unsere Vorstellungen von dem Zustande adsorbierter Stoffe in den Adsorptionsschichten von grundsätzlicher Bedeutung geworden sind, deren Besprechung aber auch im Kapitel „Grenzflächengrößen" unterblieben ist.

Das elektrokinetische Potential wird an Hand der Versuche von FREUNDLICH und seinen Mitarbeitern erörtert, wobei in theoretischer Hinsicht die modifizierenden Anschauungen von O. STERN über den räumlich-diffusen Charakter der HELMHOLTZschen Doppelschicht eingehender berücksichtigt werden.

Sehr willkommen ist die Übersicht über die von KRUYT und seinen Mitarbeitern entwickelte Auffassung von der Beständigkeit hydrophiler Sole, für die nicht nur das Potential ihrer Aufladung, sondern daneben auch wesentlich die Verminderung oder Vermehrung der Hydratation von Bedeutung ist.

Von besonderem Reiz sind schließlich die vom Verfasser zum Teil aus nächster Nähe geschilderten Abschnitte über die Gestalt der Teilchen und über die neuere Kolloidoptik, die mit dem WEIGERT-Effekt und der Beobachtung von ZOCHER und COPER, daß durch Bestrahlung einer Photochloridschicht mit zirkular polarisiertem Licht ein optisch aktives Gebilde künstlich erzeugt werden kann, unerwartete Überraschungen gebracht hat. — Bei der bevorzugten Behandlung dieser optischen Dinge würde man auch gern etwas aus neueren Arbeiten über die Farbe der Kolloidteilchen erfahren haben, z. B. aus den Veröffentlichungen von SCHAUM und seinen Mitarbeitern zur Prüfung der Theorie von MIE, unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei künstlicher Vergrößerung und Verkleinerung der Teilchen.

Diese herausgegriffenen Beispiele mögen genügen, um ein Bild von der Fülle des interessanten Stoffes zu bieten, den der Verfasser mit dem ihm eigenen Geschick in dem kleinen und doch so inhaltreichen Werke verarbeitet hat, das nicht einen trockenen Bericht, sondern eine Neugestaltung darstellt und neue Anregungen übermitteln und erwecken will.

LOTHAR HOCK, Gießen.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.